



DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

História, Política
Pública, Economia
e Recurso
Hídrico

Alysson Paolinelli
Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani

ORGANIZADORES



ESALQ

USP

Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil:

**História, Política Pública, Economia e
Recurso Hídrico**

ISBN: 978-65-87391-11-3
DOI: 10.11606/9786587391113

**Alysson Paolinelli
Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani
(Organizadores)**

**Piracicaba, SP
2021**



Reitor - Prof. Dr. Vahan Agopyan

Vice-reitor - Prof. Dr. Antonio Carlos Hernandez



ESALQ

Diretor - Prof. Dr. Durval Dourado Neto

Vice-diretor - Prof. Dr. João Roberto Spotti Lopes

**Dados de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: história, política pública, economia e recurso hídrico [recurso eletrônico] / organização de Alysson Paolinelli, Durval Dourado Neto e Everardo Chartuni Mantovani. - - Piracicaba : ESALQ - USP, 2021.
574 p. : il. - - (Cátedra Luiz de Queiroz)

ISBN: 978-65-87391-11-3
DOI: 10.11606/9786587391113

1. Irrigação - Brasil 2. Produção agrícola 3. Água 4. Sustentabilidade 5. Recursos hídricos I. Paolinelli, A., ed. II. Dourado Neto, D., ed. III. Mantovani, E. C., ed. IV. Título

CDD 631.7

Elaborada por Maria Angela de Toledo Leme - CRB-8/3359

Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons indicada





Cátedra Luiz de Queiroz

Conselho de Governança

Durval Dourado Neto

João Roberto Spotti Lopes

Luiz Gustavo Nussio

Nelson Sidnei Massola Junior

Ruy de Araújo Caldas

Conselho Editorial

Fabiana Lumi Kikuchi Hamada
Marcela Almeida de Araujo
Naila de Freitas Takahashi
Veronica Marques Alves

Apoio Editorial

Leandro de Souza Almeida
Luciana Joia de Lima
Sandra de Marchi Vello

Capa

Hugo Arantes, Studio 1 Comunicação

Fotos da Capa

1. Valmont/Valley; 2. Everardo Mantovani; 3. Everardo Mantovani;
 4. Everardo Mantovani; 5. Mila Cordeiro/ AIBA
- (da esquerda para direita)

Fotos da Contracapa

Gerhard Waller, Divisão de Comunicação da Esalq/USP
Quadros de autoria do professor Klaus Reichardt (Nikolaus)

Fotos dos Organizadores

Abramilho; Gerhard Waller/DvComun/Esalq/USP; Everardo Mantovani

CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTA OBRA E O PROFESSOR ALYSSON PAOLINELLI, TERCEIRO TITULAR DA CÁTEDRA LUIZ DE QUEIROZ

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq), da Universidade de São Paulo (USP), anunciou em 10 de outubro de 2017 a instalação da Cátedra Luiz de Queiroz, que foi aprovada por sua Congregação em 14 de setembro de 2017, iniciativa apoiada pelo Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP). A indicação do Conselho de Governança da Cátedra do eminente **Ex-Ministro Alysson Paolinelli** para ser o **Terceiro Titular da Cátedra Luiz de Queiroz (Ciclo 2020/2022)**, foi aprovada em reunião da Congregação em 28 de maio de 2020, com posse em 3 de junho de 2020 para um ciclo anual, sendo reconduzido para novo ciclo, até 2 de junho de 2022 (Portaria Interna Reitoria 215, de 26/04/21).

O Conselho de Governança da Cátedra Luiz de Queiroz é composto pelos seguintes membros: Durval Dourado Neto (Docente do Departamento de Produção Vegetal e Diretor da Esalq/USP), João Roberto Spotti Lopes (Docente do Departamento de Entomologia e Acarologia e Vice-Diretor da Esalq/USP), Luiz Gustavo Nussio (Docente do Departamento de Zootecnia da Esalq/USP), Nelson Sidnei Massola Junior (Docente do Departamento de Fitopatologia e Nematologia da Esalq/USP) e Ruy de Araújo Caldas (Membro externo de notório saber).

A **Cátedra Luiz de Queiroz de Sistemas Agropecuários Integrados** é uma cadeira voltada para a discussão e realização de atividades abertas à participação de professores e estudantes de graduação e de pós-graduação da Instituição. Tem por finalidade promover reflexões e atividades interdisciplinares, em nível regional, nacional e internacional, sobre temas relativos ao desenvolvimento e sustentabilidade de Sistemas Agropecuários Integrados e suas aplicações com o ambiente e com a sociedade.

Alysson Paolinelli é Engenheiro Agrônomo formado em 1959 pela Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG). Especializou-se nos estudos sobre o potencial da região do Cerrado para a produção agrícola. Em 1971, assumiu a Secretaria de Agricultura de Minas Gerais. Foi ministro da Agricultura no Governo de Ernesto Geisel, de 15 de março de 1974 a 15 de março de 1979. Nesse período, Paolinelli modernizou a Embrapa e promoveu a ocupação econômica do Cerrado.

Em 2006, indicado por Norman Borlaug, foi agraciado com o prêmio *World Food Prize* (equivalente ao Prêmio Nobel da alimentação), por liderar a implantação da Agricultura Tropical no Cerrado Brasileiro. Em agosto de 2017, recebeu a Medalha Luiz de Queiroz, e, em 2021, foi indicado para o Prêmio Nobel da Paz, pelo seu legado em transformar o Brasil em potência mundial do agronegócio e no papel do País em alimentar pessoas no mundo todo.

Foi Diretor-Geral da ESAL (atual, UFLA). É presidente executivo da Associação Brasileira dos Produtores de Milho (Abramilho), diretor da Verde AgriTech desde 2014 e presidente do Conselho Consultivo do Fórum do Futuro.

A principal temática desenvolvida na Cátedra Luiz de Queiroz (Ciclo 2020/2022) está voltada para projetos e propostas de políticas e ações públicas e privadas que organizem a atividade rural nacional de forma sustentável na Agricultura Irrigada, por meio de Sistemas Agropecuários Integrados no Brasil e tendo em vista sua inserção no agronegócio.

Quanto às Políticas Públicas na Agricultura Irrigada, o principal projeto a ser desenvolvido: Biomass Tropicais: [i] Caracterização da disponibilidade hídrica no Brasil, e [ii] desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil.

Quanto à Liderança Internacional (A5 - *Agricultural Academic Alliance*), a Cátedra visa colaborar com a consolidação da Aliança entre a Universidade de São Paulo (USP), por intermédio da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), *Wageningen University and Research (WUR)*, *University of California-Davis (UCDavis)*, *China Agricultural University (CAU)*, e *Cornell University* (melhores universidades de Ciências Agrárias do Mundo no ranking da editora *U.S. News and World Report 2016*), que tem por objetivo viabilizar a realização de programas acadêmicos internacionais de longa duração para atender as demandas do mundo nas áreas de Agricultura, Pecuária, Meio Ambiente e Segurança Alimentar.

Ao final do primeiro ciclo como Terceiro Catedrático, aos 120 anos do Aniversário da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, **Alysson Paolinelli** apresenta esta obra que agrega as principais lideranças da área de Agricultura Irrigada no Brasil.

Prof. Dr. Vahan Agopyan

Reitor da Universidade de São Paulo

ALYSSON PAOLINELLI: VIDA E OBRA E O SEU O LEGADO PARA PAZ

O Ex-Ministro Alysson Paolinelli teve atuação de grande destaque em toda sua trajetória acadêmica e profissional.

Primeiro colocado no vestibular do Curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), foi o presidente do Centro Acadêmico daquela instituição, onde se graduou Engenheiro Agrônomo em 1959, como primeiro colocado e orador da Turma de Formandos. Foi Diretor da ESAL (hoje Universidade Federal de Lavras - UFLA) entre 1967 e 1971, onde lecionou Hidráulica, Irrigação e Drenagem por 11 anos.

Nesse período, aprendeu os fundamentos básicos da Academia: a essência do conhecimento científico é a sua aplicação prática, como preconizava Confúcio, com o intuito maior de transformar conhecimento em riqueza para melhoria da vida de todos, especialmente os menos favorecidos. Desde o início foi um líder independente que sempre cultivou a PAZ e norteou suas ações com base na CIÊNCIA.

Especializou-se nos estudos sobre o potencial da região do Cerrado para a produção agrícola e teve brilhante atuação na direção de órgãos públicos, criando e implantando programas e instituições de grande importância na agricultura.

Foi Secretário de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais de 1971 a 1974, quando criou o Programa Integrado de Pesquisas Agropecuárias de Minas Gerais (hoje Epamig).

De 1991 a 1998, novamente Secretário, criou e implantou o Instituto Mineiro Agropecuário (IMA), que coordena programas de defesa sanitária animal e vegetal, e de qualidade e certificação de produtos agropecuários.

Foi Ministro da Agricultura de 1974 a 1979. Nesse período, Paolinelli impulsionou a expansão da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), criou e implantou a Embrater (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural), e promoveu a ocupação econômica do Cerrado através do PRODECER, programa conjunto entre o Brasil e o Japão.

Posteriormente, atuou como presidente de várias instituições públicas e privadas, destacando-se o Banco do Estado de Minas Gerais (1979-1982), a Associação Brasileira de Bancos Comerciais Estaduais (Asbace) (1980-1982), a Fiat Allis Latino Americana (1982-1996 e 1998-2001), a Confederação Nacional de Agricultura do Brasil (CNA) (1988-1990), o Fórum Nacional de Agricultura (1992-1993) e a Associação Brasileira dos Produtores de Milho (Abramilho) (2010-2015). Sempre apoiou o associativismo e o cooperativismo como formas de organização dos produtores rurais.

Atualmente, é presidente do Instituto Fórum do Futuro, que promove o desenvolvimento de uma agricultura tropical sustentável.

Ao longo de sua brilhante carreira recebeu diversos prêmios, condecorações e títulos honoríficos. Em âmbito nacional, destacam-se o Prêmio Frederico de Menezes Veiga (Embrapa, 1981), Professor Emérito (Universidade Federal de Lavras, 2006), Personalidade do Agronegócio (Associação Brasileira de Agronegócio, 2006), Ordem Nacional do Mérito Científico (Classe Grã-Cruz, 2008), Medalha dos 150 anos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2010) e Medalha Luiz de Queiroz (Esalq/USP, 2017). Também obteve amplo reconhecimento internacional.

O notável Alysson Paolinelli é praticante da agricultura mais moderna, a de baixo carbono, tendo obtido o reconhecimento por lideranças de todas as tendências ideológicas. São várias as homenagens a ele feitas por membros dos mais diversos partidos no âmbito do Parlamento brasileiro, bem como - e principalmente - de inúmeras instituições acadêmicas. Isso acontece não só por Paolinelli ter sido um técnico que valorizou a agricultura brasileira, mas por ter colocado em prática políticas que instrumentalizaram sustentavelmente o combate à fome no Brasil e no mundo.

Sua atuação política no debate Constituinte redundou na Constituição Federal de 1988, primando, sempre, por liberdade e igualdade a todos os brasileiros.

Alysson Paolinelli, por meio de emendas ao anteprojeto da Constituição no âmbito da Subcomissão da Política Agrícola e Fundiária e da Reforma Agrária da Assembleia Nacional Constituinte, propôs que a ordem econômica e social tivesse que propiciar o desenvolvimento nacional e a justiça social com base nos princípios da liberdade de iniciativa; da propriedade privada dos meios de produção; da valorização do trabalho; da função social da propriedade e da igualdade de oportunidades.

Segundo Paolinelli, a função social da propriedade é cumprida quando propicia o bem-estar de todos que dela dependem; mantém níveis satisfatórios de utilização e eficiência; e assegura a conservação dos recursos naturais e justas relações de trabalho.

Suas ideias e propostas, que podem ser revisitadas nos arquivos da Assembleia Nacional Constituinte, contribuíram sobremaneira para o perfil final da Carta Magna cidadã de 1988, equacionando o embate que existe entre igualdade e liberdade. O Estado tem de intervir para produzir condições de igualdade; para regular as oportunidades; para torná-las acessíveis a todos os seres humanos, independentemente de sua cor, origem, gênero ou condição social. Sem descuidar, por outro lado, da liberdade, da ideia de Estado que prima pelas liberdades individuais.

Quando Ministro da Agricultura entre 15 de março de 1974 a 15 de março de 1979, consolidou a Embrapa como empresa de pesquisa e promoveu o desenvolvimento rural brasileiro com base na ciência, tecnologia e inovação, bem antes de que a Constituição de 1988 estabelecesse que ao Estado cabe promover e incentivar o desenvolvimento científico, a pesquisa, e a capacitação, tendo em vista o bem público e o progresso da nação.

Sob a inspiração de Paolinelli, as instituições de Pesquisa, como universidades, empresas estaduais e a Embrapa, desenvolveram sistemas de produção específicos ao ambiente de produção tropical, viabilizando a exploração racional do Cerrado, otimizando a utilização dos recursos naturais, insumos agrícolas, mão-de-obra, terra e capital, o que resultou na expansão da produção sustentável de alimentos para parcela significativa da população mundial.

Não seria possível o desenvolvimento da agricultura e pecuária na savana brasileira sem as iniciativas do Ministro Alysson Paolinelli.

Não foi por acaso, portanto, o reconhecimento dado a ele, diante da grandeza de seus projetos e ações: foi agraciado, em 2006, com o prêmio *World Food Prize*, o equivalente ao Nobel da alimentação, por liderar a implantação da Agricultura Tropical Sustentável no Cerrado Brasileiro. Esse prêmio é dado a pessoas, independente de raça e gênero, que ajudaram consideravelmente a população a melhorar a qualidade, quantidade ou disponibilidade de alimentos no mundo.

Em 2019 foi nomeado Embaixador da Boa Vontade do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA).

Em 2020, Alysson Paolinelli se tornou o Terceiro Titular da **Cátedra Luiz de Queiroz de Sistemas Agropecuários Integrados** (Ciclo 2020/2022), uma cadeira voltada para a

discussão e realização de atividades abertas à participação de professores e estudantes de graduação e de pós-graduação da USP, coordenada por uma personalidade de notório saber. Tem por finalidade promover reflexões e atividades interdisciplinares, em nível regional, nacional e internacional, sobre temas relativos ao desenvolvimento e sustentabilidade de Sistemas Agropecuários Integrados e suas aplicações com o meio ambiente e com a sociedade

Em 22 de janeiro de 2021, ALYSSON PAOLINELLI foi indicado pela Universidade de São Paulo, por intermédio da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para o Prêmio Nobel da Paz, pelo seu legado para promoção da PAZ através da oferta de alimentos em nível global: não haverá PAZ enquanto houver FOME.

Transformou o Brasil, da condição de importador de alimentos em 1970, em potência mundial do agronegócio que viabilizou o Brasil alimentar mais de 10% da população mundial e de liderar como Terceiro Catedrático da Esalq/USP o Projeto Biomas, que procura estruturar um planejamento estratégico para prover a produção de alimentos para mais 1 bilhão e cento e vinte milhões de pessoas em 2050, sempre tendo como alicerce de seus programas a ciência, a tecnologia, a sustentabilidade e a inovação.

Alysson Paolinelli é, enfim, um líder brasileiro provedor da PAZ em nível MUNDIAL, tanto no PASSADO com o desenvolvimento da Agricultura Sustentável no Cerrado preservando a Amazônia, como no PRESENTE e no FUTURO liderando o Projeto Biomas na Academia como Terceiro Titular da Cátedra Luiz de Queiroz.

**Roberto Rodrigues
Durval Dourado Neto**

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE ESTE LIVRO

A **OBRA** intitulada **DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL** foi organizada em dois livros e em seis importantes partes: **História, Política Pública, Economia, Recurso Hídrico, Técnica e Cultura**. Envolve 58 capítulos e mais de 1258 páginas (incluindo a parte pré-textual) e, dentro da visão de integração que sempre foi a forma de atuar do Ex-Ministro Alysson Paolinelli, contemplando 117 diferentes autores de várias instituições públicas e privadas, possibilitando uma literatura que será uma referência para o setor.

Este **LIVRO** intitulado **DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL** foi organizada em 4 PARTES (**História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico**), contendo 32 CAPÍTULOS de 574 páginas (além de outras 43 páginas na parte pré-textual), contemplando 68 AUTORES de diferentes instituições públicas e privadas, assim discriminados:

Título - DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL: História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico

Parte I - HISTÓRIA

CAPÍTULO 1. A irrigação no Brasil: sua importância em normas, princípios legais e breve retrospectiva histórico-legislativa por *Durval Dourado Neto, Alysson Paolinelli e Everardo Chartuni Mantovani*

CAPÍTULO 2. A implementação da política nacional de irrigação no Brasil: história, situação e perspectivas por *Antônio Felipe Guimarães Leite e Frederico Cintra Belém*

CAPÍTULO 3. Desenvolvimento da indústria da irrigação no Brasil pelas décadas por *Antonio Alfredo Teixeira Mendes*

CAPÍTULO 4. Evolução tecnológica da indústria de equipamentos de irrigação por pivô central e linear no Brasil, com ênfase nos emissores e reguladores de pressão por *Claudio Tomazela*

CAPÍTULO 5. Históricos e relatos e reflexões pessoais sobre o Brasil como país-membro da Icid por *Helvécio Mattana Saturnino*

Parte II – POLÍTICA PÚBLICA

CAPÍTULO 6. A sustentabilidade da agricultura irrigada com base nos aspectos legais por *Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis*

CAPÍTULO 7. Políticas públicas voltadas à agricultura irrigada sustentável por *Ana Maria Soares Valentini, Amarildo José Brumano Kalil, Luciano Baião Vieira e Paulo Afonso Romano*

CAPÍTULO 8. As políticas públicas e o desenvolvimento da indústria de irrigação no Brasil (a partir do ano de 2000) por *João Rebequi*

CAPÍTULO 9. Certificação na agricultura irrigada como incentivo ao uso racional e eficiente da água por *Maria Emília Borges Alves e Vagney Aparecido Augusto*

CAPÍTULO 10. A conversão de sistemas de irrigação em projetos públicos de irrigação da Codevasf: protocolo Mandacaru por *Frederico Orlando Calazans Machado*

CAPÍTULO 11. Escassez hídrica e o desenvolvimento econômico no setor agropecuário por *Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima*

CAPÍTULO 12. Potencial da adoção da agricultura irrigada no Brasil por *Durval Dourado Neto, Pedro Alves Quilici Coutinho, Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto, Marcela Almeida de Araujo, Arthur Nicolaus Fendrich, José Lucas Safanelli, Rodrigo Fernando Maule, Ana Letícia Sbitkowski Chamma, Thiago Henriques Fontenelle e Frederico Cintra Belém*

CAPÍTULO 13. Análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas por *Rodrigo Fernando Maule, Durval Dourado Neto, Klaus Reichardt, Marcela Almeida de Araujo, Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto e Simone Beatriz Lima Ranieri*

CAPÍTULO 14. Análise territorial da conectividade no meio rural visando a automação remota de sistemas de irrigação por *Durval Dourado Neto, Rodrigo Fernando Maule, Klaus Reichardt, Arthur Nicolaus Fendrich, Marcela Almeida de Araujo e Simone Beatriz Lima Ranieri*

CAPÍTULO 15. Agricultura irrigada: estratégias para o desenvolvimento sustentável do Brasil por *Mariane Crespolini dos Santos, Gustavo dos Santos Goretti, Frederico Cinta Belém, Liciane Alice Nascimento Peixoto e Lineu Neiva Rodrigues*

CAPÍTULO 16. Contribuição técnica, social e econômica dos perímetros públicos de irrigação para otimização de recurso hídrico por *Athadeu Ferreira da Silva*

Parte III - ECONOMIA

CAPÍTULO 17. Situação e potencial da irrigação sustentável na agricultura familiar por *Aziz Galvão da Silva Júnior e Everardo Chartuni Mantovani*

CAPÍTULO 18. Benefícios diretos e indiretos da irrigação por *Ricardo Gava*

CAPÍTULO 19. Irrigação: o próximo salto da agricultura brasileira por *Pedro Abel Vieira Júnior, Antônio Márcio Buainain, Durval Dourado Neto e Roberta Dalla Porta Grundling*

CAPÍTULO 20. Análise da viabilidade econômica para irrigação por *Flávio Gonçalves Oliveira e João Batista Ribeiro da Silva Reis*

Parte IV - RECURSO HÍDRICO

CAPÍTULO 21. Modelagem hidrogeológica aplicada ao aquífero Urucuia: estudo de caso por *Eduardo Antônio Gomes*

Marques, Gerson Cardoso Silva Júnior, Glauco Glauco Zely Silva Eger e Archange Michael Illambwetsi

CAPÍTULO 22. Gestão de recursos hídricos no Brasil no contexto da agricultura irrigada por *Demetrius David da Silva e Michel Castro Moreira*

CAPÍTULO 23. Água de reúso na agricultura irrigada por *Edson Eiji Matsura e Tamara Maria Gomes*

CAPÍTULO 24. Alternativas de sistemas de tratamento de água residuária para reúso na fertirrigação de hortaliças em cultivo convencional e vertical por *Rodrigo Máximo Sánchez Román, João Gabriel Thomaz Queluz, Tamires Lima da Silva, Kevim Muniz Ventura e Valdemiro Simão João Pitoro*

CAPÍTULO 25. Irrigação e sua fundamental importância por *Hiran Medeiros Moreira*

CAPÍTULO 26. Pequenas barragens na agricultura irrigada por *Lineu Neiva Rodrigues e Daniel Althoff*

CAPÍTULO 27. Panorama das áreas irrigadas e do uso da água pela agricultura irrigada no Brasil por *Thiago Henriques Fontenelle, Daniel Assumpção Costa Ferreira, Marco Vinícius Castro Gonçalves e Sérgio Rodrigues Ayrimoraes*

CAPÍTULO 28. Uso de água subterrânea na agricultura irrigada por *Luiz Antônio Lima*

CAPÍTULO 29. A irrigação na perspectiva da gestão das águas e ambiental por *Marília Carvalho de Melo, Felipe Bernardes Silva, Fabrício Lisboa Vieira Machado, Ana Sílvia Pereira Santos e Marcelo da Fonseca*

CAPÍTULO 30. Uma análise da irrigação por aspersão no Brasil por *Marcus Schmidt*

CAPÍTULO 31. Manejo profissional da irrigação: aspectos gerais e análise das culturas do feijão, milho, soja e algodão por *Sandro Batista Santos Rodrigues*

CAPÍTULO 32. Índice de sustentabilidade: contribuições das ciências ambientais na agricultura irrigada por *Gregorio Guirado Faccioli e Raimundo Rodrigues Gomes Filho*

Este livro é parte de uma importante estratégia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) que integra anualmente ao seu corpo técnico científico uma personalidade com especiais serviços prestados ao Brasil como Titular da Cátedra Luiz de Queiroz. No Ciclo 2020/2022, o Ex-Ministro Alysson Paolinelli é o Terceiro Titular da Cátedra Luiz de Queiroz de Sistemas Agropecuários Integrados.

A importância do trabalho do Ex-Ministro Alysson para agricultura irrigada brasileira é inquestionável, inicialmente como professor da área na antiga Escola Superior de Agricultura de Lavras (Esal), hoje Universidade Federal de Lavras (Ufla), e posteriormente como Secretário de Agricultura do Estado de Minas Gerais, Ministro da Agricultura, inúmeros outros cargos na iniciativa pública e privada e uma incansável participação em eventos técnicos. Neste sentido foi proposta a elaboração desta obra como uma das atividades do Ex-Ministro Alysson.

A agricultura irrigada é uma das principais estratégias brasileiras para garantir o aumento da produção de alimentos com **sustentabilidade**: (i) **social** com a geração de inúmeros empregos diretos e indiretos, (ii) **ambiental** com a área adicional irrigável de cerca de 15 Mha, no período de 30 anos, não necessitar o desmatamento de novas áreas (“desmatamento zero”), e (iii) **econômica** devido ao aumento da produção e, conseqüentemente, da renda no campo, na agroindústria e na área de serviços. O mundo demanda, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), que o Brasil produza alimento para cerca de 2,7 bilhões de pessoas (de um total 9,8 bilhões de pessoas – população mundial) em 2050, sabendo que atualmente produz para cerca de 1,5 bilhões (de um total 7 bilhões de pessoas – população mundial).

As publicações técnicas são muito importantes para o desenvolvimento da agricultura irrigada porque subsidiam e norteiam ações da iniciativa pública e privada, pelo fato dos profissionais desses setores apresentarem soluções eminentemente técnicas, com base científica, e que representam os atuais valores da sociedade, visando transformar conhecimento em riqueza em benefício de todos os segmentos da sociedade. Para representar a visão da SOCIEDADE BRASILEIRA, foram convidados os profissionais que apresentaram contribuições nos diferentes capítulos desta OBRA. Para representar a visão do ESTADO BRASILEIRO, foram convidadas as seguintes autoridades: (i) o Exmo. Sr. Vice-Presidente da República, **Antonio Hamilton Martins Mourão**, para realizar a APRESENTAÇÃO desta OBRA, (ii) a Exma. Sra. Ministra da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Tereza Cristina Corrêa da Costa Dias**, para realizar o PREFÁCIO, e (ii) o Exmo. Sr. Ministro do Desenvolvimento Regional, **Rogério Simonetti Marinho**, para realizar o POSFÁCIO.

Esta obra foi lançada nas comemorações do aniversário (3 de junho de 2021) de 120 de anos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), motivo pelo qual a contracapa deste livro foi contemplada com as fotos (fotógrafo Gerhard Waller, DvComun/Esalq/USP) dos quadros de autoria do talentoso pintor Nikolaus (pseudônimo do Professor Klaus Reichardt): o ‘**retrato de dentro para fora**’ do Portal Monumental da Esalq/USP retrata como a Esalq/USP se relaciona com sociedade e o ‘**retrato de fora para dentro**’ do Portal Monumental da Esalq/USP retrata a visão da sociedade concernente à Esalq/USP. O Portal Monumental da Esalq/USP foi revitalizado após mais de 60 anos de inatividade e reinaugurado no dia 3 de junho de 2021 juntamente com a publicação desta obra.

Assim, os organizadores agradecem de forma muito especial às contribuições dos autores, que não mediram esforços para escrever um pouco da experiência de cada um, para esta importante obra da área de agricultura irrigada.

Alysson Paolinelli
Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani

OS ORGANIZADORES

OS AUTORES

1. Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Ciências (USP), Pós-doutor (CNPq). Atua nas áreas de planejamento do uso da terra e modelagem espacial com ênfase em produção agropecuária, desenvolvimento rural e meio ambiente. No Grupo de Políticas Públicas da Esalq/USP (GPP) coordena a concepção de soluções em políticas públicas através de análise de dados e geotecnologias.

2. Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis. Possui graduação em Ciências Biológicas, Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Mestrado e Doutorado em Botânica, Pós-Doutorado com enfoque na Implementação do Código Florestal Brasileiro Lei 12.651/2012 e do Decreto Florestal Estadual 15.180/2014 e o Programa de Regularização Ambiental (PRA) em áreas de Cerrado na Bahia, Brasil. Atualmente é Diretora de Meio Ambiente e Irrigação da Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA).

3. Alysson Paolinelli. Engenheiro Agrônomo (Esalq, 1959). Foi Ministro da Agricultura (1974-1979). Prêmio *World Food Prize* (2006). Indicado ao Prêmio Nobel da Paz (2021). Terceiro Titular da Cátedra Luiz de Queiroz (Esalq/USP, Ciclo 2020-2022).

4. Amarildo José Brumano Kalil. Engenheiro Agrônomo e Mestre pela UFV. Atuou junto à Seapa (Superintendente de Planejamento, Gestão e Finanças; Assessor técnico especial em agricultura irrigada; e Secretário de Estado Adjunto). Funcionário da Emater-MG desde 1985 (Coordenador técnico estadual, Diretor Presidente e atualmente é Coordenador Técnico Regional em Viçosa-MG).

5. Ana Letícia Sbitkowski Chamma. Engenheira Sanitarista e Ambiental (UFES), Mestre em Agronomia, área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas (Esalq/USP). Atua na área de planejamento do uso da terra e análise de dados ambientais. Possui experiência em geoprocessamento, levantamento e organização de dados.

6. Ana Maria Soares Valentini. Secretária de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA), de Minas Gerais. Engenheira Florestal (UFV) e produtora rural em Bonfinópolis (MG), tendo presidido a Associação dos Produtores Rurais e Irrigantes do Noroeste de Minas (Irriganor). Participa, desde 1987, do Prodec - Programa de Desenvolvimento do Cerrado para ampliar. Integrou o projeto na Amazônia "Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais", coordenado pela fundação WWF (World Wide Fund for Nature). Em 2019, foi speaker do Fórum Internacional '10 Mulheres que Você Precisa Ouvir', promovido pela Federação das Mulheres Empresárias e Empreendedoras da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) e foi a primeira mulher a assumir como secretária de estado em toda história da SEAPA/MG.

7. Ana Sílvia Pereira Santos. Engenheira Civil pela UFMG (2003), mestre (2005) e doutora (2010) em Engenharia Civil (Tecnologia de Recursos Hídricos e Saneamento) pela COPPE/UFRJ, com pós-doutorado (2020-2021) pela Universidade do Minho/Portugal. É professora do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e membro permanente dos programas de pós-graduação em Engenharia Ambiental da UERJ: Mestrado (PEAMB), e Doutorado (DEAMB).

8. Antonio Alfredo Teixeira Mendes. Gerente Geral NaanDanJain Brasil Indústria e Comércio de Equipamentos para Irrigação Ltda. MBA Executivo Gestão Empresarial, Financeira e Controladoria – EPGE/FGV e Ohio University. Especialização em Engenharia de Irrigação – UFV. Engenharia Agrícola – FEEA/Unicamp. Diretor Plenário Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas – SINDIMAQ. Vice-Presidente Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos – CSEI/Abimaq.

9. Antônio Felipe Guimarães Leite. Coordenador de Projetos e Polos de Irrigação, do Ministério do Desenvolvimento Regional. Formado em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrárias – UPIS (Brasília – DF). Possui especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Irrigação. Agrônomo concursado do Ministério do Desenvolvimento Regional desde 2005. Trabalha na condução da Política Nacional de Irrigação desde 2006, tendo participado na elaboração da proposta de regulamentação da Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013.

10. Antônio Márcio Buainain. Graduado em Direito (Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ) e Economia (Faculdade de Direito da Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ). Professor do Instituto de Economia da Unicamp, pesquisador sênior do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Políticas Públicas, Estratégia e Desenvolvimento (INCT/PPED) e do Núcleo de Economia Aplicada, Agricultura e Meio Ambiente (NEA+), vinculado ao Instituto de Economia da Unicamp. Áreas de pesquisa: políticas agrícolas e desenvolvimento rural; agricultura familiar, reforma agrária e pobreza rural; inovação tecnológica e propriedade intelectual.

11. Archange Michael Illambwetsi. Geólogo (2011) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atuou como Pesquisador em Hidrogeologia no Laboratório de Hidrogeologia (HIDROGEO/UFRJ). Atualmente é geólogo de empresa de investigação e projetos.

12. Arthur Nicolaus Fendrich. Engenheiro Ambiental e Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Doutorando em Ciências Ambientais pela Université Paris-Saclay. Atua na área de modelagem matemática, geoprocessamento e desenvolvimento de ferramentas automatizadas para gestão de políticas públicas.

13. Athadeu Ferreira da Silva. Engenheiro Agrônomo UFLA (1975), Mestre (1989) e Doutor (1995) em Irrigação e Drenagem pela Esalq/USP. Funcionário da Codevasf (1976 - atual). Coordenador de Obras e Projetos da Codevasf. Atuação em Políticas de Públicas de Desenvolvimento Regional: Planos de Recursos Hídricos, Planos e Projetos de Revitalização de Bacias Hidrográficas; Gestão Hídrica; Programas de Irrigação e Drenagem. Membro do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco; Conferências do Clima Eco 92 e Rio + 20; Fóruns Mundiais da Água Marselle/França (2012) e Brasília/DF (2018); Agenda 21 (1995).

14. Aziz Galvão da Silva Júnior. Engenheiro Agrônomo e Mestre em Economia Rural (UFV), Ph.D. em Administração Rural (Univ. de Bonn, Alemanha). Pós-doutorado em Sustentabilidade (FoodNet Center, Universidade de Bonn, Alemanha) e Governança de Recursos Hídricos (Water for Food Institute, Universidade de Nebraska, USA). Professor Titular de Administração Rural da UFV. Coordenador de Projetos de Extensão e Pesquisa Aplicada nas áreas de Agricultura Familiar, Biocombustíveis, Sustentabilidade da Produção Agrícola e Difusão de Tecnologia.

15. Claudio Tomazela. Engenheiro Agrônomo (1981), Mestre (1993) e Doutor (1996) pela Esalq/USP; Gerente de Engenharia de Aplicação e Desenvolvimento de Mercado, Carborundum Sistemas de Irrigação (1982-1988); CT Assessoria Técnica em Agricultura Irrigada (1991-2003); Sócio Administrador da Senninger Irrigação do Brasil (2003-2016); CT Assessoria e Consultoria Empresarial Eireli (2016-2018); Coordenador de Desenvolvimento de Mercado da Nelson Irrigação Brasil Ltda (desde abril de 2018).

16. Daniel Althoff. Doutor em Engenharia Agrícola com ênfase em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é pesquisador de pós-doutorado na Universidade de Stockholm. Tem experiência em modelagem hidrológica e na aplicação de técnicas de aprendizado de máquina.

17. Daniel Assumpção Costa Ferreira. Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre em Ciências de Florestas Tropicais pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Especialista em Geoinformática pelo *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation* (ITC). Desde 2006, vem atuando nas áreas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem geoespacial, com passagens pelo

Sistema de Proteção da Amazônia- SIPAM, Ibama e Instituto Brasília Ambiental - IBRAM. Desde 2010 atua como Especialista em Geoprocessamento na ANA e atualmente na Coordenação de Estudos Setoriais, com foco de trabalho no uso consuntivo da água pela agricultura irrigada.

18. Demetrius David da Silva. Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola e atual Reitor da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq Nível 1A. Engenheiro Agrônomo (1987), Mestre (1990) e Doutor (1994) em Recursos Hídricos e Ambientais pela UFV e Pós-doutorado (2016) no *Hydrologic Modeling Lab* da Universidade da Flórida (EUA). Atua no ensino e em pesquisas nas áreas de planejamento e gestão de recursos hídricos, modelagem hidrológica e conservação de solo e água.

19. Durval Dourado Neto. Engenheiro Agrônomo (1984) pela UFV, Mestre (Irrigação e Drenagem, 1989) e Doutor (Solos e Nutrição de Plantas, 1992) pela Esalq/USP e Pós-Doutor em física do solo e modelagem em agricultura pela Universidade da Califórnia (1993-1995). Professor Titular e Diretor da Esalq/USP. Coordenador do Grupo de Políticas Públicas (GPP/Esalq/USP) para o desenvolvimento de inteligência estratégica e espacial no apoio à decisão da interface agricultura e meio ambiente. Atua em modelagem de sistemas agrícolas.

20. Edson Eiji Matsura. Engenheiro Agrônomo (1980) e Mestre (Irrigação e Drenagem, 1987) pela Esalq/USP, Doutor (Hidráulica Agrícola, 1992) pela *Universite de Montpellier II* (França) e Pós-Doutor pela Universidade de Castilla-La Mancha (UCLM, Espanha, 2008). Professor colaborador e Titular da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Conservação de Solo e Água, atuando principalmente nos temas: manejo de água e nutrientes na agricultura irrigada.

21. Eduardo Antônio Gomes Marques. Geólogo (1987), Doutor em Geologia Aplicada à Engenharia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998). Completou períodos sabáticos na FEUP (Portugal, 2000-2001) na *The University of Queensland* (Austrália, 2014-2015). Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFV. Atua em Ensino na graduação, na Pós-Graduação, em pesquisa e em extensão. É revisor de diversos periódicos internacionais.

22. Everardo Chartuni Mantovani. Engenheiro Agrícola (1981) e Mestre (Engenharia Agrícola, 1986) pela UFV e Doutor (Agronomia – Manejo da Irrigação, 1993) pela Universidad de Córdoba Espanha. Professor (desde 1983) Titular Sênior do DEA-UFV. Coordenou por 20 anos o GESAI (Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada) - DEA/UFV. Em 2008 criou a empresa Irriplus Tecnologia e Treinamento Ltda na Incubadora de Empresas Tecnológicas da UFV e é o idealizador e criador da empresa IRRIGER, hoje empresa do grupo Valmont. Atual presidente da Abid – Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem.

23. Fabrício Lisboa Vieira Machado. Geógrafo, Mestre em Análise Ambiental e Doutorando em Geografia Aplicada e Geotecnologias pela Universidade Federal de Minas Gerais, Diretor de Gestão Territorial Ambiental da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais.

24. Felipe Bernardes Silva. Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Minas Gerais (2013). Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais pela Universidade Federal de Viçosa (2015). Atualmente é professor na Universidade Vale do Rio Verde - UNINCOR em Três Corações, dos cursos de Agronomia e Engenharia Ambiental e do Mestrado em Sustentabilidade dos Recursos Hídricos.

25. Flávio Gonçalves Oliveira. Engenheiro Agrícola com Mestrado e Doutorado em Engenharia Agrícola na área de Irrigação e Drenagem pela UFV. Professor de Irrigação e Drenagem do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. Atuação na área de projetos de Irrigação, gerenciamento de Irrigação, hidrologia e análise de rentabilidade na agricultura Irrigada. Mais de 45 artigos publicados em revistas e capítulos de livros, mais de 500 projetos de Irrigação efetuados e 185 alunos orientados na área de Irrigação.

26. Frederico Cintra Belém. Analista de Infraestrutura do Ministério da Economia desde o ano de 2010 e lotado atualmente no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Engenheiro Agrônomo pela Universidade de Brasília - UnB, Especialista em Irrigação e Gestão dos Recursos Hídricos. Atuou no cargo de Coordenador-Geral de Agricultura Irrigada do Ministério do Desenvolvimento Regional de janeiro de 2019 a setembro de 2020. Especialização em Gestão de Agronegócios, Especialização em Administração Pública, Especialização em Gestão Ambiental, e Curso de Aperfeiçoamento em Planejamento Estratégico. Atualmente está como Coordenador-Geral de Irrigação e Drenagem no MAPA e tem como atribuição a responsabilidade pela implementação da Política Nacional de Irrigação, Lei 12.787/2013 e seus instrumentos.

27. Frederico Orlando Calazans Machado. Engenheiro Agrônomo e Mestre em Fitotecnia pela Universidade de Brasília; Pós-Graduado em Análise de Sistemas pela Universidade Católica de Brasília; MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada pela FGV/Eco Business School e em Gestão Pública FUNDACE/Codevasf, é analista em desenvolvimento regional da Codevasf desde 2001, tendo atuado no período de 2007 a 2017 como Secretário Executivo da Área de Irrigação.

28. Gerson Cardoso Silva Júnior. Geólogo (UFRJ, 1983), com mestrado em Geologia (Geologia de Engenharia) pela UFRJ (1991) e Doutor em Geologia (Hidrogeologia) pela Universidade Politécnica de Catalunha, Barcelona, Espanha (1997). Professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, tem atuado na Graduação e Pós-Graduação (PPG de Geologia e Meteorologia) e como Editor Associado do Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ.

29. Glauco Zely Silva Eger. Geólogo (2012), Doutorando em Geologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente atua como Pesquisador em Hidrogeologia no Laboratório de Hidrogeologia (HIDROGEO/UFRJ), possui experiência como consultor na área de hidrogeologia e geologia ambiental. Mestre em geologia (hidrogeologia) (2015) e Graduado Bacharel em Geologia pela Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

30. Gregorio Guirado Faccioli. Engenheiro Agrícola, Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2002) na área de concentração de Irrigação e Drenagem. Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe. Professor e Orientador do Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA/UFS e Orientador do Mestrado em Recursos Hídricos – PRORH/US. Bolsista Produtividade CNPq nível 2 na área de Ciências Ambientais.

31. Gustavo dos Santos Goretti. Engenheiro Agrônomo, atualmente é diretor substituto do Departamento de Produção Sustentável e Irrigação do MAPA sendo responsável pelo tema de agregação de valor aos produtos agropecuários, fomento à agroindústria e indicação geográfica onde também foi Coordenador-Geral de Irrigação e Drenagem. Exerceu o cargo de assessor técnico da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA, nas questões relacionadas à água, irrigação, reúso de água e meio ambiente.

32. Helvécio Mattana Saturnino. Engenheiro Agrônomo – UFV (1966) e Mestre - Purdue University, USA (1970). Presidente da ABID-Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem e editor da revista ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna no período de 2000 a 2021. Consultor e gerente de empreendimentos próprios, tem experiência na área de administração, com ênfase em projetos e gestão de agronegócios na agricultura irrigada, em organização de sistemas cooperativos de pesquisas e inovações e em trabalhos de integração agrícola e pecuária e o sistema Plantio Direto.

33. Hiran Medeiros Moreira. Engenheiro Agrônomo com Mestrado em Irrigação pela UFV e Pós-Graduado em Gestão Empresarial pela Fundação Dom Cabral. Atuou como responsável

técnico por fazendas de produção de grãos, cofundador e diretor da empresa Irriger Gerenciamento e Engenharia de Irrigação por 15 anos, coordenando equipe de consultores em gestão de irrigação e projetos no Brasil e no exterior. Coordenou desenvolvimento de software e plataforma Irriger Connect. Atualmente é gerente global do programa Valley Leasing, da empresa Valmont.

34. João Batista Ribeiro da Silva Reis. Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Mestre em Engenharia Agrícola pela UFLA e Doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq/USP). Atualmente é pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG Norte. Tem experiência na área irrigação e drenagem, atuando principalmente em: sistemas de irrigação, estresse hídrico, manejo da irrigação e agrometeorologia.

35. João Gabriel Thomaz Queluz. Engenheiro Ambiental pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Unesp - Rio Claro. Mestre (2013) e Doutor (2016) pela Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Unesp Botucatu. Tem experiência em tratamento de águas residuárias, sistemas alagados construídos, sistemas descentralizados de tratamento, recuperação e reciclagem de nutrientes, reúso de efluentes, reúso agrícola, irrigação, hidráulica, modelagem matemática, análise estatística e modelagem dinâmica espaço-temporal aplicada a gestão de recursos hídricos e sistemas de tratamento de água e esgoto.

36. João Rebequi. Executivo do Agronegócio com mais de 25 anos atuando em multinacionais do setor agrícola. Atualmente Vice-Presidente Regional para América Latina na Valmont Industries (NYSE:VMI) residindo em Nebraska desde 2017.

37. José Lucas Safanelli. Engenheiro Agrônomo (UFSC), Doutor em Agronomia (Esalq/USP). Tem experiência na aplicação de geotecnologias e ciência de dados em estudos de agricultura e ambiente. Atua em projetos de mapeamento, modelagem e monitoramento agrícola.

38. Kevim Muniz Ventura. Doutorando no programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), com período sanduíche na Universidad de Castilla-La Mancha. Mestre em Agronomia (Irrigação e drenagem), trabalhou na avaliação de um sistema vertical de produção irrigada. Engenheiro Agrônomo e Bacharel em Ciências Rurais pela UFSC. Possui experiência com tratamento de efluente para reúso na agricultura; Agricultura familiar; Sistemas verticais de cultivo e irrigação localizada.

39. Klaus Reichardt. Engenheiro Agrônomo (1963) e Doutor em Agronomia (1965) pela Esalq/USP. Livre Docência em Física e Meteorologia (1968), Ph.D. em Ciência do Solo (1971), Universidade da Califórnia (EUA) e Professor Titular em Física e Meteorologia (1981). Professor Sênior junto ao Cena/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) e orientador no curso de Fitotecnia da Esalq/USP. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física de Solos.

40. Liciane Alice Nascimento Peixoto. Engenheira ambiental pela Universidade do Estado do Pará (2013), especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Faculdade Estácio de Sá (2019). Possui experiência no licenciamento ambiental, logística e controle de qualidade da cadeia de suprimentos na exportação de alimentos, análise técnica de projetos de lei, coautoria de programas federais e materiais técnicos da gestão pública nacional, edição de resoluções em conselhos nacionais.

41. Lineu Neiva Rodrigues. Pesquisador na área de recursos hídricos e irrigação da Embrapa Cerrados. É mestre e doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa e pós-doutor pela Universidade de Nebraska-EUA, Lincoln, em Engenharia de Irrigação e Manejo de Água. Foi consultor da Organização dos Estados Americanos e pesquisador visitante na Universidade da Califórnia-EUA, Davis. Foi presidente da Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia e Conselheiro titular do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

42. Luciano Baião Vieira. Engenheiro Agrônomo (UFV, 1974). Mestre (Engenharia Agrícola, UFV, 1982). Doutor em Agronomia - Universidad Politécnica de Madrid Espanha (1992) e Pós-doutorado na Área de Mecanização Agrícola, na University of Kentucky EUA (2007). Professor do DEA-UFV de 1974 a 2009. Chefe do DEA-UFV 1993-1996, Diretor do CENTEV-UFV 2001-2002, Pró-Reitor de Extensão e Cultura UFV 2003-2004, Diretor Geral do Campus da UFV de Rio Paranaíba 2008-2013 e Assessor Especial da SEAPA MG – 2018 até o momento.

43. Luiz Antônio Lima. Engenheiro Agrícola pela UFLA, com mestrado e PhD, pela Universidade da Califórnia-Davis, com atuação em Irrigação, Drenagem e Hidrogeologia. Já atuou como gestor de empresas nacionais, americanas e israelenses em projetos na América Latina. Atualmente é professor titular do Departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras.

44. Marcela Almeida de Araujo. Economista, Mestre em Agronomia e doutoranda em Economia Aplicada (Esalq/USP). Atua em projetos ligados a análise de políticas públicas e desenvolvimento rural sustentável. Tem experiência com gestão de projetos, levantamento de dados primários, sistema de informações espaciais, modelagem econômica e de sistemas agrícolas.

45. Marcelo da Fonseca. Engenheiro Civil pela UFOP (2004), mestre (2006) em Engenharia Civil pela UFOP. É analista ambiental do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam deste 2006, já exerceu as atividades de Subsecretário de Fiscalização Ambiental da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais - Semad e atualmente é Diretor-Geral do Igam e professor universitário.

46. Marco Vinícius Castro Gonçalves. Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos pela Universidade de Brasília (UnB). Atuou como Técnico em Recursos Hídricos no Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. Desde 2010 é Especialista em Recursos Hídricos da ANA, tendo atuado principalmente na elaboração de estudos setoriais, na Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos.

47. Marcus Schmidt. Engenheiro Agrícola (UFV), MSc Mestrado em Engenharia de Irrigação e Drenagem (UFV), MBA-FGV Gerenciamento de Projetos, Membro da Comissão de Estudo de Normas Técnicas ABNT/CE-203. Gerente Geral da Senninger Irrigação do Brasil.

48. Maria Emília Borges Alves. Pesquisadora da Embrapa Cerrados, Engenheira Agrícola (UFLA/1996), mestre em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem (UFLA/1999), especialista em Meio Ambiente e Gestão de Recursos Hídricos (CEFET-MG/2004), doutora em Meteorologia Agrícola (UFV/2009) e pós-doutorado desenvolvido na Embrapa Milho e Sorgo. Atuação nos setores privado e público com Engenheira Agrícola, nas áreas de Irrigação e Agrometeorologia.

49. Mariane Crespolini dos Santos. Gestora Ambiental pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Mestre e Doutora em Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas. Foi pesquisadora no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Atualmente é Diretora do Departamento de Produção Sustentável e Irrigação na Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

50. Marília Carvalho de Melo. Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002), mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006) e doutorado em Recursos Hídricos pelo Programa de Engenharia Civil (PEC) - COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Atualmente é Secretária Estadual de Meio Ambiente, já foi secretária adjunta e subsecretária de fiscalização da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais e Diretora Geral do Instituto Mineiro de Gestão das Águas. É

professora e coordenadora do Mestrado Sustentabilidade em Recursos Hídricos da Universidade do Vale do Rio Verde".

51. Michel Castro Moreira. Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Possui graduação em Ciência da Computação (2003), mestrado (2006) e doutorado (2010) em Engenharia Agrícola pela UFV. Atua no ensino e em pesquisas nas áreas de planejamento e gestão de recursos hídricos, desenvolvimento de sistemas computacionais e geoprocessamento.

52. Paulo Afonso Romano. Engenheiro Agrônomo pela UFV, Diretor do Serviço Geológico do Brasil-CPRM, desde 2019. Atualmente membro do Fórum do Futuro; Secretário Adjunto da SEAPA/MG, 2006-2014; Secretário de Recursos Hídricos do MMA, 1995-1998; Dep. Federal (MG), 1991-1994; Presidente da CAMPO (coordenador do Prodecer - Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados), 1979-1991; Secretário Executivo do MAPA, 1974-1979 (Gestão Alysson Paolinelli); Secretário Adjunto SEAPA/MG, 1971-1974.

53. Pedro Abel Vieira Júnior. Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desde 1989 com experiência na área de agronomia (sementes e mudas, modelagem agrícola com ênfase na previsão do clima e negócios tecnológicos). Após 2002, ainda na Embrapa, desenvolve trabalhos na área socioeconômica com ênfase em gestão integrada do risco agrícola, bioenergia, desenvolvimento regional, comércio agrícola internacional e cenário para agricultura.

54. Pedro Alves Quilici Coutinho. Engenheiro Agrônomo pela Esalq/USP. Atua em projetos voltados ao desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao meio rural. Possui experiência em geoprocessamento, modelagem espacial e análises estatística de dados.

55. Raimundo Rodrigues Gomes Filho. Engenheiro Agrônomo e doutor em Engenharia Agrícola pela UFV. Coordenador do curso de Agronomia e de pós-graduação em produção vegetal na UFG e diretor de Instituto no Ceará. Atualmente é professor do curso de Engenharia Agrícola, das Pós-Graduações (PRORH e PRODEMA) da UFS. Avaliador de cursos de graduação pelo INEP. Editor chefe e de seção de periódicos nacionais. Autor dos livros "Hidráulica Aplicada as Ciências Agrárias" e "Gestão de Recursos Hídricos: Conceitos e Experiências em Bacias Hidrográficas".

56. Ricardo Gava. Engenheiro Agrícola (2008) e Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá – UEM (2010) com desenvolvimento de pesquisa de sua Dissertação no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), e Doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Esalq/USP (2014). Realizou Doutorado Sanduíche na University of California/Davis, pelo período de um ano (2013), com Bolsa pelo CNPq/CsF. Desde 2014 é Professor Adjunto da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS/CPCS.

57. Roberta Dalla Porta Gründling. Graduada em Ciências Econômicas pela UFSM. Mestre e Doutora em Agronegócios pela UFRGS. Economista da Embrapa Sede (Analista) desde 2010, tendo atuado na Secretaria de Negócios e no Centro de Estudos e Capacitação. Atualmente é analista na área de Estudos Estratégicos na Secretaria de Inovação e Relações Estratégicas na Embrapa Sede.

58. Rodrigo Fernando Maule. Engenheiro Agrônomo e Doutor pela Esalq/USP. Atua em projetos de desenvolvimento e avaliação de políticas públicas relacionados a agricultura e desenvolvimento rural, sendo responsável pela gestão de projetos no Grupo de Políticas Públicas da Esalq/USP (GPP).

59. Rodrigo Máximo Sánchez Román. Professor junto ao Departamento de Engenharia Rural na UNESP - Campus Botucatu. Possui graduação em Engenharia em Irrigação e Drenagem pelo Instituto Superior de Ciências Agropecuárias de La Habana (1984), mestrado em Engenharia Agrícola pela Texas A&M University (1990), doutorado em Engenharia Agrícola

pela UFV (2006) e pós-doutorado na Esalq/USP (2008 - 2010). Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Irrigação e Drenagem, reuso de água, SODIS, modelagem, recursos hídricos, dinâmica de sistemas.

60. Sandro Batista Santos Rodrigues. Engenheiro Agrícola e Ambiental e Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais, com ênfase em Irrigação, pela Universidade Federal de Viçosa. Atua desde 2007 pela Irriger/Valmont, iniciando como consultor técnico, passando por diversas funções na empresa e atualmente é o gerente comercial Brasil, liderando uma equipe de mais de 80 consultores. Ministrou mais de cinquenta palestras relacionadas ao tema de irrigação e diversos treinamentos para a equipe interna e das fazendas.

61. Sérgio Rodrigues Ayrimoraes. Engenheiro Civil e mestre em tecnologia ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Desde 2003, é especialista em recursos hídricos da ANA. Atualmente, é superintendente de planejamento de recursos hídricos da ANA, cuja área é responsável pela elaboração e coordenação de planos de recursos hídricos; estudos hidrológicos; estudos de avaliação de qualidade da água e propostas de enquadramento; pela gestão da informação e edição anual do relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil; além de estudos setoriais com vistas a subsidiar o planejamento e a compatibilização dos usos múltiplos da água.

62. Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem pela Esalq/USP com estágio sanduíche em Córdoba - Espanha no IAS/CSIC e pós-doutorado na Universidade da Califórnia, Davis. Foi professor de Irrigação do Instituto CENTEC e criador do Laboratório de Irrigação acreditado pelo INMETRO. Foi um dos fundadores do Instituto INOVAGRI e atualmente é Secretário Executivo do Agronegócio da Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Estado do Ceará - SEDET.

63. Simone Beatriz Lima Ranieri. Engenheira Agrônoma (Esalq/USP). Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, Doutora e Pós-Doutora em Agronomia (USP). Experiência nas áreas planejamento do uso da terra e avaliação de impactos de empreendimentos. No Grupo de Políticas Públicas da Esalq/USP (GPP) coordena a frente dos projetos voltados ao desenvolvimento rural sustentável.

64. Tamara Maria Gomes. Engenheira Agrônoma, com mestrado e doutorado em irrigação e drenagem. Realizou Pós-Doutorado na Esalq/USP no período de 2007 a 2010, no tema "Utilização de Efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto na Agricultura". Também participou de 2009 a 2011 como auditora do programa de certificação agrícola para recomendação do selo *Rainforest Alliance*. Atualmente é Professora Associada da FZEA/USP no curso de Engenharia de Biosistemas e Professora Permanente no Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Sistemas Agrícolas Esalq/USP. Também atua desde 2017 como Assessora Técnica da Superintendência de Gestão Ambiental/USP.

65. Tamires Lima da Silva. Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) na Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp Botucatu. Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Engenheira Ambiental com período de Graduação Sanduíche no Canadá na University of Northern British Columbia. Atuou como monitora de Projeto de Iniciação Científica Jr. (Pesquisador do Futuro) financiado pela Fapesp, tendo recebido o "Prêmio Ecologia 2016: Crise Hídrica-Ações e Soluções" na categoria Pesquisa.

66. Thiago Henriques Fontenelle. Geógrafo e mestre pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Especializado em dinâmicas urbano-ambientais e gestão do território pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Atuou como analista em geoprocessamento no IBGE. Atua desde 2012 como especialista em recursos hídricos da ANA, na Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, em especial na elaboração e na coordenação de planos de recursos hídricos e em estudos setoriais sobre usos consuntivos da água.

67. Vagney Aparecido Augusto. Especialista em recursos hídricos com foco em águas subterrâneas, recursos minerais, geotecnologias, políticas públicas e gestão. Prestou consultorias em diversos temas e atua como pesquisador (doutoramento) junto ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Geociências da UNB - Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Graduado em Geologia pela UFC (2003), mestre em Recursos Minerais pela Unicamp (2006) e MBA em Gestão Econômica de Recursos Minerais pela BI International Brasil/EUA (2014).

68. Valdemiro Simão João Pitoro. Licenciado (2013) em Engenharia Rural pela Universidade Eduardo Mondlane - Moçambique, mestrado (2019) em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", São Paulo - Brasil. Tem experiência em sistemas de irrigação agrícola, fiscalização de obras de captação e armazenamento de água, pesquisa em manejo de irrigação e tratamento de efluentes para reuso na agricultura.

ORGANIZAÇÃO



ESALQ **USP**

Patrocínio



Apoio



UFV
Universidade Federal
de Viçosa



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



APRESENTAÇÃO

Os dois livros da obra “Diferentes Abordagens sobre Agricultura Irrigada no Brasil” nos levam em uma viagem pela história e evolução da agricultura irrigada de seus primórdios aos dias de hoje.

A exposição didática e a visão integradora, tão peculiares ao ex-Ministro Alysson Paolinelli, nos atualizam com objetividade, técnica e vasto conteúdo, abordando o assunto em suas múltiplas dimensões.

Em tempos de agricultura 4.0 e de valorização de temas ambientais, tratar de irrigação é trazer ao público interessado o embasamento necessário para um agronegócio moderno, que otimize recursos de todas as ordens e garanta produtividade com a sustentabilidade exigida pelo momento histórico.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) presta o merecido reconhecimento ao ex-Ministro Alysson Paolinelli, ao nomeá-lo como titular da Cátedra Luiz de Queiroz aproveitando toda sua experiência de cientista e de homem público a serviço da agricultura e da economia brasileira.

Com incontestáveis serviços prestados ao Brasil, Alysson Paolinelli tornou-se uma referência internacional quando se fala de produtividade e sustentabilidade, pois ao longo de sua vida, quer no meio acadêmico, quer no exercício de cargos executivos no âmbito estadual e federal, implantou políticas, criou órgão de pesquisa e exerceu tão singelamente o exercício da cátedra, de forma prática, eficaz e inovadora.

Estou certo de que essa obra será de grande utilidade não somente ao meio acadêmico, como peça de referência sobre o assunto, mas para o agronegócio como um todo, do pequeno produtor ao grande fazendeiro. Essa contribuição ultrapassa as cercas e porteiras das propriedades agrícolas e será de utilidade também para a gestão pública, a agroindústria, enfim, para todos os setores sob a crescente influência do agronegócio brasileiro.

Como estudioso da História e da Economia e na qualidade de Presidente do Conselho Nacional da Amazônia Legal, cuja missão é coordenar esforços dos órgãos federais para proteger, preservar e desenvolver a Amazônia Legal, acredito que o Brasil está destinado a alimentar parcela crescente da população mundial, contando com sistemas agrícolas cada vez mais competitivos, sustentáveis e resilientes.

Por isso, sinto-me privilegiado ao apresentar uma coletânea que descortina ao leitor a agricultura do século 21, com o embasamento necessário para o perfeito entendimento da importância da irrigação para a economia do País, para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente e, em última análise, para a sobrevivência e prosperidade humana.

Antonio Hamilton Martins Mourão
Vice-Presidente da República

PREFÁCIO

Há cerca de 6 mil anos, na Mesopotâmia, região que hoje compreende o Iraque e parte do que é chamado Crescente Fértil, colonos construíram canais e desviaram a água do Rio Eufrates para suas plantações, iniciando a prática da irrigação. E a irrigação transformou a terra e a sociedade como nenhuma outra atividade havia feito até então. A prática viabilizou a produção confiável de alimentos e permitiu que parte das pessoas pudesse trabalhar em atividades diferentes da agricultura.

Avaliada de maneira isolada, a irrigação talvez seja a mais importante intervenção benéfica promovida intencionalmente pelo homem sobre o seu ambiente. Ao longo do tempo, ela passou por vários processos de desenvolvimento e foi se adaptando a diferentes circunstâncias. Atualmente, faz parte de um conjunto de tecnologias que contribuem efetivamente para suprir a crescente demanda por alimentos no planeta, com participação significativa nos aumentos de produção e produtividade agrícola em escala global.

A intensificação da agricultura, aliada à redução dos impactos ambientais, é a estratégia mais adequada para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. Entre as várias tecnologias envolvidas nesse processo, a irrigação é, sem dúvida, uma das principais. Em regiões como o Cerrado brasileiro, é a irrigação que possibilita a produção com ganhos de produtividade em qualquer época do ano.

A agricultura irrigada induz, direta ou indiretamente, a um maior aporte de tecnologias, inovações e conhecimentos, bem como ao aprimoramento de capacidades, o que contribui para a intensificação das práticas agrícolas com gradativas inserções de técnicas e manejos associados aos conceitos do desenvolvimento sustentável.

No mundo, a agricultura irrigada é responsável por cerca de 40% de toda a produção, viabilizando uma produtividade até quatro vezes superior à agricultura de sequeiro. A fim de se produzir o equivalente à produção média adicional proveniente das áreas irrigadas, seria necessário expandir a atual área de sequeiro em cerca de 300 milhões de hectares.

Além de trazer significativos benefícios ambientais, aumentos de produtividade contribuem de forma concreta para a promoção do desenvolvimento regional e da melhoria da qualidade de vida das pessoas. Promovem o crescimento do produto interno bruto e a redução da pobreza. O potencial de crescimento da agricultura irrigada no nosso País é imenso.

Aos poucos, os desafios existentes aos avanços na implantação de áreas irrigadas vão sendo equacionados entre o poder público e os irrigantes. Acredita-se que, no curto prazo, seja possível dobrar, de forma sustentável, o nosso incremento anual de área irrigada, tendo em vista a capacidade instalada da indústria, a infraestrutura existente (transporte, energia e capacidade de armazenamento) e a disponibilidade de mão-de-obra capacitada, terras aptas e recursos hídricos no Brasil.

Este livro é um material inédito e foi elaborado com o objetivo de trazer conhecimentos que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Brasil. Para isso, buscou-se congrega profissionais, tanto da iniciativa privada quanto do setor público, que trazem abordagens diferenciadas sobre os principais temas correlatos à agricultura irrigada.

De forma geral, a Obra contextualiza a importância da agricultura irrigada no crescimento da agropecuária brasileira e na produção de alimentos para o mundo,

demonstrando que a irrigação é uma das tecnologias que permitirão a intensificação da produção agrícola no último grau de tecnologia, dando segurança ao produtor rural no investimento em suas lavouras, desde a semeadura à colheita e à comercialização.

Além disso, a irrigação blinda os produtores rurais dos impactos do aquecimento global, na medida em que reduz o risco climático associado à produção. Permite, ainda, a realização de duas – ou até três - safras de grãos por ano na mesma terra, sem quebra de produção, e proporciona a produção de hortifrutigranjeiros durante o ano inteiro.

Em síntese, o presente livro traz em seus capítulos o papel do governo na implantação da Política Nacional de Irrigação, além das experiências dos irrigantes e de dados e informações sobre como podemos avançar com a irrigação, o desenvolvimento em pesquisa e tecnologia e muito mais.

Numa reflexão sobre esta publicação, o leitor poderá perceber que ela representa, em sua essência, o princípio agregador e visionário do ex-ministro Alysson Paolinelli, que deixa aqui mais um legado para a agricultura brasileira.

Tereza Cristina Corrêa da Costa Dias
Ministra da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico

SUMÁRIO

Parte I - HISTÓRIA

CAPÍTULO 1

1	A irrigação no Brasil: sua importância em normas, princípios legais e breve retrospectiva histórico-legislativa	3
	<i>Durval Dourado Neto, Alysson Paolinelli e Everardo Chartuni Mantovani</i>	
	Resumo	3
1.1	Introdução	3
1.2	Breve retrospectiva histórico-legislativa sobre o tema	5
1.3	Política nacional de irrigação	8
1.4	O que esperar da política nacional de irrigação	11
1.5	Considerações finais	11
	Referências	12

CAPÍTULO 2

2	A implementação da política nacional de irrigação no Brasil: história, situação e perspectivas	15
	<i>Antônio Felipe Guimarães Leite e Frederico Cintra Belém</i>	
	Resumo	15
2.1	Introdução	15
2.2	O Estado e a irrigação no Brasil: esforço para a difusão da tecnologia com vistas ao desenvolvimento regional	16
2.3	Situação da Política Nacional de Irrigação	19
2.4	Apoio a melhoria da gestão dos projetos públicos de irrigação	20
2.5	Aproximar a política nacional de irrigação do setor privado	21
2.6	Considerações finais	24
	Referências	25

CAPÍTULO 3		
3	Desenvolvimento da indústria da irrigação no Brasil pelas décadas	29
	<i>Antonio Alfredo Teixeira Mendes</i>	
	Resumo	29
3.1	Introdução	29
3.2	Primórdios da indústria de equipamentos para irrigação no Brasil	30
3.3	A evolução da indústria nacional de equipamentos de irrigação ao longo das décadas	33
3.4	A situação atual da indústria de equipamentos para irrigação no Brasil: Alguns aspectos setoriais	38
3.5	Novos paradigmas e desafios da indústria de equipamentos para irrigação com vistas ao desenvolvimento sustentável	40
3.6	Considerações finais	42
	Referências	42

CAPÍTULO 4		
4	Evolução tecnológica da indústria de equipamentos de irrigação por pivô central e linear no Brasil, com ênfase nos emissores e reguladores de pressão	45
	<i>Claudio Tomazela</i>	
	Resumo	45
4.1	Introdução	45
4.2	Empresas fabricantes de emissores e reguladores de pressão	51
4.3	Considerações finais	73
	Referências	74

CAPÍTULO 5		
5	Históricos, relatos e reflexões pessoais sobre o Brasil como país-membro da Icid	75
	<i>Helvécio Mattana Saturnino</i>	
	Resumo	75
5.1	Introdução	75
5.2	Histórico e relatos pessoais sobre o início da relação do Brasil com a Icid	75
5.3	<i>International Commission on Irrigation and Drainage (Icid)</i>	75
5.4	Históricos, relatos e reflexões pessoais sobre a relação entre Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (Abid) e a <i>International Commission on Irrigation and Drainage (Icid)</i>	76
5.5	Considerações finais	83
	Referências	84

Parte II – POLÍTICA PÚBLICA

CAPÍTULO 6

6	A sustentabilidade da agricultura irrigada com base nos aspectos legais	89
	<i>Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis</i>	
	Resumo	89
6.1	Introdução	89
6.2	A sustentabilidade da agricultura irrigada com base nos aspectos legais	89
6.3	O Estado da Bahia: região Oeste	95
6.4	Considerações finais	97
	Referências	98

CAPÍTULO 7

7	Políticas públicas voltadas à agricultura irrigada sustentável	101
	<i>Ana Maria Soares Valentini, Amarildo José Brumano Kalil, Luciano Baião Vieira e Paulo Afonso Romano</i>	
	Resumo	101
7.1	Introdução	102
7.2	Panorama retrospectivo global	102
7.3	Antecedentes no Brasil	104
7.4	Política de agricultura irrigada harmonizada ao meio ambiente	106
7.5	Conservação e reservação de água na agricultura irrigada	107
7.6	Renovação do marco institucional e legal	108
7.7	Concepção e estruturação dos instrumentos e mecanismos de gestão	109
7.8	Plano de irrigação e uso múltiplo de água nas bacias hidrográficas do RS	118
7.9	Plano de irrigação nas bacias hidrográficas do MS	119
7.10	Licitação dos planos do CE, PE, BA e ES	119
7.11	Colaboração e cooperação federativa na consolidação da política de agricultura irrigada	119
7.12	Perspectiva da política de Agricultura Irrigada harmonizada à área ambiental	121
7.13	Considerações finais	125
	Referências	125

CAPÍTULO 8

8	As políticas públicas e o desenvolvimento da indústria de irrigação no Brasil (a partir do ano de 2000)	127
	<i>João Rebequi</i>	
	Resumo	127
8.1	Introdução	127
8.2	A indústria de irrigação	127
8.3	A Flexibilização na formalização do crédito rural	129
8.4	O grande <i>boom</i> : o subsídio através das taxas	131
8.5	A irrigação no centro da discussão das políticas públicas agrícolas	133
8.6	A indústria de Irrigação nos próximos 20 anos	134
8.7	Considerações finais	135
	Referências	135

CAPÍTULO 9

9	Certificação na agricultura irrigada como incentivo ao uso racional e eficiente da água	137
	<i>Maria Emília Borges Alves e Vagney Aparecido Augusto</i>	
	Resumo	137
9.1	Introdução	137
9.2	Uso eficiente da água na agricultura irrigada	138
9.3	Incentivos ao uso eficiente da água na agricultura irrigada	140
9.4	Certificação: conceito geral	141
9.5	Certificação para agricultura irrigada	143
9.6	Iniciativas nacionais de certificação para agricultura irrigada	144
9.7	Exemplos internacionais de certificação aplicada à agricultura irrigada	146
9.8	Modelos de certificações do setor agropecuário	148
9.9	Diretrizes básicas para certificação na agricultura irrigada	150
9.10	Considerações finais	152
	Referências	153

CAPÍTULO 10

10	A conversão de sistemas de irrigação em projetos públicos de irrigação da Codevasf: projeto Mandacarú	157
	<i>Frederico Orlando Calazans Machado</i>	
	Resumo	157
10.1	Introdução	157
10.2	Mapa estratégico do Ministério da Integração Nacional	158
10.3	Projeto Mandacarú	159
10.4	Protocolo Mandacarú	165
10.5	Avaliação dos resultados	166
10.6	Replicação para novos projetos	170
10.7	Desafios e oportunidades	173
10.8	Considerações finais	174
	Referências	174

CAPÍTULO 11

11	Escassez hídrica e o desenvolvimento econômico no setor agropecuário	177
	<i>Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima</i>	
	Resumo	177
11.1	Introdução	177
11.2	Contextualização	178
11.3	Ações estratégicas para o setor de agronegócio no estado do Ceará	181
11.4	Considerações finais	183
	Referências	183

CAPÍTULO 12

12	Potencial da adoção da agricultura irrigada no Brasil	185
	<i>Durval Dourado Neto, Pedro Alves Quilici Coutinho, Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto, Marcela Almeida de Araujo, Arthur Nicolaus Fendrich, José Lucas Safanelli, Rodrigo Fernando Maule, Ana Letícia Sbitkowski Chamma, Thiago Henriques Fontenelle e Frederico Cintra Belém</i>	
	Resumo	185
12.1	Introdução	185
12.2	Metodologia	186
12.3	Resultados	194
12.4	Considerações finais	199
	Referências	202

CAPÍTULO 13

13	Análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas	205
	<i>Rodrigo Fernando Maule, Durval Dourado Neto, Klaus Reichardt, Marcela Almeida de Araujo, Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto, Pedro Alves Quilici Coutinho e Simone Beatriz Lima Ranieri</i>	
	Resumo	205
13.1	Introdução	205
13.2	Agricultura irrigada no Brasil	207
13.3	Potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil	208
13.4	Modelo de análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada	208
13.5	Análise territorial e políticas públicas	216
13.6	Aperfeiçoamento de variáveis da metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada	217
13.7	Necessidade de irrigação: principal mês de semeadura para as culturas de interesse em nível municipal	223
13.8	Área irrigável	226
13.9	Considerações finais	228
	Referências	228

CAPÍTULO 14

14	Análise territorial da conectividade no meio rural visando a automação remota de sistemas de irrigação	231
	<i>Durval Dourado Neto, Rodrigo Fernando Maule, Klaus Reichardt, Arthur Nicolaus Fendrich, Marcela Almeida de Araujo e Simone Beatriz Lima Ranieri</i>	
	Resumo	231
14.1	Introdução	231
14.2	Análise territorial da conectividade no meio rural visando a automação remota de sistemas de irrigação de pivô central	231
14.3	Análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação nas áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central com vistas à automação	237
14.4	Análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e para caracterização da cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas	240
14.5	Análise territorial visando a cobertura de banda larga (telefonia móvel 4G) nas áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central com vistas à automação remota	241
14.6	Qualidade da cobertura 4G: modelos de Friis e ITM	242
14.7	Áreas com pivô central e qualidade da cobertura 4G pelo modelo ITM	248
14.8	Análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e para caracterizar a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas	253
14.9	Considerações finais	258
	Referências	259

CAPÍTULO 15

15	Agricultura irrigada: estratégias para o desenvolvimento sustentável do Brasil	263
	<i>Mariane Crespolini dos Santos, Gustavo dos Santos Goretti, Frederico Cintra Belém, Liciano Alice Nascimento Peixoto e Lineu Neiva Rodrigues</i>	
	Resumo	263
15.1	Introdução	263
15.2	Tendências globais e o planejamento necessário	264
15.3	Estratégias brasileiras para garantir a segurança alimentar	267
15.4	Potencial de crescimento da agricultura irrigada	269
15.5	Mitos e verdades	271
15.6	Desafios e Estratégias para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada	271
15.7	Considerações finais	276
	Referências	277

CAPÍTULO 16

16	Contribuição técnica, social e econômica dos perímetros públicos de irrigação para otimização de recurso hídrico	283
	<i>Athadeu Ferreira da Silva</i>	
	Resumo	283
16.1	Introdução	283
16.2	Caracterização e contextualização	284
16.3	Contribuições praticadas: métodos de trabalhos, geração e demonstração de tecnologias, treinamentos e capacitações realizadas	284
16.4	Considerações finais	288
	Referências	288

Parte III - ECONOMIA

CAPÍTULO 17

17	Situação e potencial da irrigação sustentável na agricultura familiar	291
	<i>Aziz Galvão da Silva Júnior e Everardo Chartuni Mantovani</i>	
	Resumo	291
17.1	Introdução	291
17.2	Agricultura familiar, sustentabilidade e irrigação	292
17.3	Agricultura familiar no Brasil	296
17.4	Situação atual da irrigação na agricultura familiar	298
17.5	Potencial da irrigação sustentável na agricultura familiar	302
17.6	Considerações finais	305
	Referências	305

CAPÍTULO 18

18	Benefícios diretos e indiretos da irrigação	309
	<i>Ricardo Gava</i>	
	Resumo	309
18.1	Introdução	309
18.2	Benefícios da irrigação para o início da safra	310
18.3	A eficiência dos herbicidas depende da umidade do solo	311
18.4	Eficiência dos fertilizantes	311
18.5	Quimigação	312
18.6	Irrigação Suplementar	312
18.7	Irrigação Plena	317
18.8	Produção contínua e integrada	321
18.9	Considerações finais	323
	Referências	323

CAPÍTULO 19

19	Irrigação: o próximo salto da agricultura brasileira	327
	<i>Pedro Abel Vieira Júnior, Antônio Márcio Buainain, Durval Dourado Neto e Roberta Dalla Porta Grundling</i>	
	Resumo	327
19.1	Introdução	327
19.2	Agricultura brasileira e meio ambiente	329
19.3	Produtividade na agricultura brasileira	331
19.4	Irrigação: uma nova fronteira de expansão da agricultura brasileira?	334
19.5	Considerações finais	338
	Referências	338

CAPÍTULO 20

20	Análise da viabilidade econômica para irrigação	339
	<i>Flávio Gonçalves Oliveira e João Batista Ribeiro da Silva Reis</i>	
	Resumo	339
20.1	Introdução	339
20.2	Análise de viabilidade econômica	340
20.3	Irrigação localizada	342
20.4	Implantação do modelo de viabilidade econômica	343
20.5	Resultados obtidos	346
20.6	Considerações finais	350
	Referências	351

Parte IV – RECURSO HÍDRICO

CAPÍTULO 21

21	Modelagem hidrogeológica aplicada ao aquífero Urucuia: estudo de caso	355
	<i>Eduardo Antônio Gomes Marques, Gerson Cardoso Silva Júnior, Glauco Zely Silva Eger e Archange Michael Illambwetsi</i>	
	Resumo	355
21.1	Introdução	355
21.2	Motivações do estudo	357
21.3	Área de estudo	357
21.4	Etapas do estudo	359
21.5	Levantamento de dados	360
21.6	Inventário de poços	360
21.7	Apresentação e caracterização dos dados existentes nas diversas bases de dados	360
21.8	Processamento dos dados pré-existent	363
21.9	Características geológicas e o modelo geológico conceitual	366
21.10	Análise e discussão de parâmetros hidráulicos do SAL: resultados de testes de bombeamento realizados no estudo	368
21.11	Modelo hidrogeológico numérico	373
21.12	Avaliação dos resultados	374
21.13	Considerações finais	375
	Referências	377

CAPÍTULO 22

19	Gestão de recursos hídricos no Brasil no contexto da agricultura irrigada	381
	<i>Demetrius David da Silva e Michel Castro Moreira</i>	
	Resumo	381
22.1	Introdução	381
22.2	Disponibilidade hídrica superficial no Brasil	382
22.3	Demandas hídricas e usos múltiplos da água no Brasil	384
22.4	Política Nacional de Recursos Hídricos	386
22.5	Política Nacional de Irrigação	394
22.6	Considerações finais	395
	Referências	396

CAPÍTULO 23		
23	Água de reúso na agricultura irrigada <i>Edson Eiji Matsura e Tamara Maria Gomes</i>	399
	Resumo	399
23.1	Introdução	399
23.2	A legislação brasileira para reúso da água na agricultura	400
23.3	Características dos efluentes tratados para a agricultura irrigada	403
23.4	Produção e qualidade da cultura, estado nutricional e o solo com irrigação de efluente tratado	406
23.5	A sustentabilidade do reúso de água na agricultura irrigada: desafios e perspectivas	409
23.6	Considerações finais	411
	Referências	411

CAPÍTULO 24		
24	Alternativas de sistemas de tratamento de água residuária para reúso na fertirrigação de hortaliças em cultivo convencional e vertical <i>Rodrigo Máximo Sánchez Román, João Gabriel Thomaz Queluz, Tamires Lima da Silva, Kevim Muniz Ventura e Valdemiro Simão João Pitoro</i>	417
	Resumo	417
24.1	Introdução	417
24.2	Sistema de desinfecção solar para águas residuárias domésticas	418
24.3	Aumento da eficiência do sistema de desinfecção solar por meio da adição de doses de peróxido de hidrogênio	420
24.4	Aplicação na prática agrícola	421
24.5	Eficiência de alagados construídos no tratamento da água residuária	422
24.6	Combinação do sistema de desinfecção solar com leito biológico filtrante	424
24.7	Produção de hortaliças em sistema vertical de cultivo	425
24.8	Influências na produção utilizando o sistema vertical	425
24.9	Considerações finais	431
	Referências	431

CAPÍTULO 25		
25	Irrigação e sua fundamental importância <i>Hiran Medeiros Moreira</i>	435
	Resumo	435
25.1	Introdução	435
25.2	A crise hídrica	436
25.3	Importância da agricultura irrigada	437
25.4	Importância da irrigação no Brasil	438
25.5	Considerações finais	444
	Referências	444

CAPÍTULO 26		
26	Pequenas barragens na agricultura irrigada <i>Lineu Neiva Rodrigues e Daniel Althoff</i>	447
	Resumo	447
26.1	Introdução	447
26.2	Identificação e estabelecimento de relações entre cota e área-volume de pequenas barragens	450
26.3	Balanço de água no reservatório	453
26.4	Infiltração	453
26.5	Evaporação	454
26.6	Avaliação do impacto de pequenas barragens na disponibilidade hídrica durante a estação seca	457
26.7	Aspectos legais a serem considerados na construção de pequenas barragens	457
26.8	Considerações finais	458
	Referências	459

CAPÍTULO 27		
27	Panorama das áreas irrigadas e do uso da água pela agricultura irrigada no Brasil <i>Thiago Henriques Fontenelle, Daniel Assumpção Costa Ferreira, Marco Vinícius Castro Gonçalves e Sérgio Rodrigues Ayrimoraes</i>	463
	Resumo	463
27.1	Introdução	463
27.2	Levantamentos de áreas irrigadas	464
27.3	Uso da água	467
27.4	Polos de agricultura irrigada	469
27.5	Caminhos para a segurança hídrica	472
27.6	Considerações finais	475
	Referências	476

CAPÍTULO 28		
28	Uso de água subterrânea na agricultura irrigada <i>Luiz Antônio Lima</i>	479
	Resumo	479
28.1	Introdução	479
28.2	Estudos geofísicos	481
28.3	Exploração da água subterrânea	481
28.4	Hidráulica da água subterrânea	484
28.5	Movimento de água em direção ao poço em aquífero sedimentar livre	485
28.6	Movimento de água em direção ao poço em aquífero confinado	486
28.7	Escolha da bomba	490
28.8	Método de Thiem (1906)	494
28.9	Método para poço em aquífero livre	494
28.10	Métodos para regime transiente	494
28.11	Considerações finais	500
	Referências	500

CAPÍTULO 29		
29	A irrigação na perspectiva da gestão das águas e ambiental	503
	<i>Marília Carvalho de Melo, Felipe Bernardes Silva, Fabrício Lisboa Vieira Machado, Ana Sílvia Pereira Santos e Marcelo da Fonseca</i>	
	Resumo	503
29.1	Introdução	503
29.2	O cenário de Minas Gerais	504
29.3	Metodologia	506
29.4	Irrigação e uso do solo	507
29.5	Irrigação e quantidade de água	509
29.6	Irrigação e qualidade da água	510
29.7	Irrigação e a produtividade agrícola	513
29.8	Considerações finais	516
	Referências	516

CAPÍTULO 30		
30	Uma análise da irrigação por aspersão no Brasil	519
	<i>Marcus Schmidt</i>	
	Resumo	519
30.1	Introdução	519
30.2	Caracterização dos sistemas de aspersão	519
30.3	Histórico da irrigação no Brasil	521
30.4	Irrigação de algumas culturas	523
30.5	Irrigação por aspersão e manejo	525
30.6	Considerações finais	527
	Referências	527

CAPÍTULO 31		
31	Manejo profissional da irrigação: aspectos gerais e análise das culturas do feijão, milho, soja e algodão	529
	<i>Sandro Batista Santos Rodrigues</i>	
	Resumo	529
31.1	Introdução	529
31.2	Manejo da irrigação	531
31.3	Manejo da irrigação via planta	533
31.4	Manejo da irrigação via solo	534
31.5	Manejo da irrigação via clima (balanço hídrico)	536
31.6	Manejo profissional da irrigação	537
31.7	Análise das principais culturas irrigadas	538
31.8	Considerações finais	545
	Referências	545

CAPÍTULO 32		
32	Índice de sustentabilidade: contribuições das ciências ambientais na agricultura irrigada	549
	<i>Gregorio Guirado Faccioli e Raimundo Rodrigues Gomes Filho</i>	
	Resumo	549
32.1	Introdução	549
32.2	Relação sociedade e natureza	550
32.3	A importância dos acordos internacionais nos processos de mitigação dos impactos socioambientais	551
32.4	Dimensões da sustentabilidade	553
32.5	Indicadores e índice de sustentabilidade	554
32.6	Indicadores relacionados a água e a agricultura irrigada	556
32.7	Uso da água	556
32.8	Uso de energia	557
32.9	Metodologias para determinação do índice de sustentabilidade	557
32.10	Aplicações da metodologia na agricultura irrigada	558
32.11	Considerações finais	565
	Referências	565
	POSFÁCIO	569
	HOMENAGEM (Klaus Reichardt – Recurso Hídrico)	571
	Relação de Autores, Capítulos e E-mails	573

Parte I

HISTÓRIA

Parte I - HISTÓRIA

CAPÍTULO 1**1 A IRRIGAÇÃO NO BRASIL: SUA IMPORTÂNCIA EM NORMAS, PRINCÍPIOS LEGAIS E BREVE RETROSPECTIVA HISTÓRICO-LEGISLATIVA**

Durval Dourado Neto, Alysson Paolinelli e Everardo Chartuni Mantovani

Resumo

O presente artigo busca demonstrar a tradução legal dada à importância que a sociedade brasileira dispensa à irrigação na forma das normas gerais que a exprimem, mormente em sua dimensão socioeconômica, por meio de uma breve retrospectiva histórica sobre o tema.

1.1 Introdução

O mundo vive hoje, mais que nunca, o dilema sobre como produzir o suficiente para eliminar a fome no planeta; como, nesse âmbito, eliminar desigualdades sociais; mas, também, e ao mesmo tempo, sobre como preservar o meio ambiente para as gerações vindouras. Isso significa enfrentar o desafio de produzir mais alimentos, torná-los mais acessíveis a todos os brasileiros mantendo o controle da atividade produtiva de modo que ela afete o menos possível o meio ambiente. A irrigação, nesse contexto, surge como atividade da maior relevância.

Os critérios para melhor definição, adequação e uso dos métodos e equipamentos de irrigação devem ser aprimorados para minimizar as perdas e otimizar o manejo da água considerando o ambiente de produção, como o solo, a cultura e clima, com o intuito de maximizar a eficiência do uso de água e, por conseguinte, o meio ambiente como um todo. A otimização do uso de água, para um controle eficiente da irrigação propriamente dita, de seu lado, tendo em vista a produção e a produtividade, requer instrumentos de qualidade, análises laboratoriais precisas e conhecimento técnico, visando reduzir custos e maximizar produtividade, com maior sustentabilidade, portanto, sob o ponto de vista socioeconômico e ambiental.

A irrigação é a tecnologia que permite implantar a agricultura irrigada, ou seja, plantios contínuos em uma mesma área independe da distribuição das chuvas, sendo neste sentido, única na capacidade de gerar, de forma integral, ganhos expressivos na produção, na produtividade, na geração de empregos, na geração de renda e, de forma geral no desenvolvimento socioeconômico de uma região. Desta forma, a agricultura irrigada intensifica a produção, otimizando o uso da terra e dos ativos (máquinas, sistema de beneficiamento, infraestrutura em geral etc.), gerando benefícios que explicam a forte demanda por seu crescimento e desenvolvimento.

Também é importante considerar a nova agricultura irrigada, conectada com a sustentabilidade e, por apresentar grande capacidade de intensificação da produção de alimentos, fibras e agroenergia sem ampliação da área de produção, tem forte conotação estratégica de desenvolvimento. Este entendimento é fundamental no debate sobre a disponibilidade e uso dos recursos hídricos.

Sob o ponto de vista ambiental, para a verificação da sustentabilidade do sistema de produção, é necessário realizar o balanço de carbono. Os resultados referentes ao balanço de carbono em diferentes sistemas de produção devem considerar a metodologia de cálculo e abrangência dos processos considerados correspondentes às emissões e às remoções de carbono provocadas pelo Homem.

De maneira geral, pastagens degradadas não são eficientes na mitigação da emissão de gases de efeito estufa, considerando o sequestro de carbono no solo. Por outro lado, sistemas intensivos, sejam eles integrados ou não, apresentam elevado potencial de redução da emissão de gases de efeito estufa e possibilita otimizar o balanço de carbono da atividade podendo até gerar créditos de carbono.

No Brasil, os sistemas de produção integrando a agricultura e a pecuária, podem apresentar benefícios ao ambiente, na medida em que podem funcionar como agente mitigador das emissões dos gases de efeito estufa (GEE). A saída está, portanto, no controle do ambiente produtivo, e, para esse desiderato, a irrigação é fundamental. Daí a necessidade de uma política governamental concertada entre, em especial, os poderes executivo e legislativo, para o alcance deste objetivo.

Para verificar a sustentabilidade do sistema de produção que integra Lavoura, Pecuária e Floresta, torna-se necessário realizar o balanço de carbono. Também é importante esta avaliação para a agricultura irrigada.

A agricultura irrigada pode agir de forma direta e indireta em prol da ABC. Indiretamente atua na potencialização dos demais sistemas que fazem parte do programa como: Recuperação de áreas pastagem degradadas (Programa 1), ILPF (Programa 2), Sistema de Plantio Direto (Programa 3) entre outros. Diretamente intensifica a produção por unidade de área (kg/ha/ano, kg/mm e kg/R\$), possibilita o acúmulo de carbono no solo em níveis da vegetação nativa ou superior com o passar dos anos (CAMPOS *et al.*, 2020) e substituição de áreas degradadas e com perdas históricas de carbono do solo para um sistema de produção efetivo em produção, produtividade e carbono no solo.

Considerando o citado anteriormente um pleito importante para o setor de agricultura irrigada é que ela seja incluída com um programa da ABC.

É notável, nesse sentido, a importância dada à irrigação por diversos governos das mais diversas matizes políticas, o que coloca esta atividade a salvo de políticas de oportunidade. A irrigação foi competência do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, no Governo Collor de Melo (alínea "l" do inciso VI do art. 19, Lei 8.028, de 12 de abril de 1990), Ministério no qual funcionava a Secretaria Nacional da Irrigação (alínea "e" do inciso V do art. 23, do mesmo diploma legal).

Passou a ser, em seguida, de competência do Ministério da Integração Nacional no Governo Itamar Franco (alínea "d" do inciso XIII da Lei 8.490, de 19 de novembro de 1992), no qual funcionava a Secretaria de Irrigação (alínea "f" do inciso XII da mesma Lei).

No Governo Fernando Henrique Cardoso a competência da Secretaria de Irrigação, do Ministério da Integração Regional, foi transferida para a Secretaria de Recursos Hídricos, do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (inciso IV do art. 18 da Medida Provisória 813, de 1 de janeiro de 1995), mas devolveu essa competência para o Ministério de Integração Nacional para que ela formulasse e conduzisse a política nacional de irrigação (alínea "j" do inciso X da Lei 9.649 de 27 de maio de 1998).

No Governo Lula, a distribuição da competência para tratar da irrigação foi mantida no Ministério de Integração Nacional, tal qual era no período anterior (alínea "j" do inciso VII do art. 27 da Lei 10.683 de 28 de maio de 2003), assim como no Governo Dilma Rousseff (alínea "j" do inciso VII do art. 27 da Lei 13.341, de 29 de setembro de 2016).

No Governo Michel Temer, também constituía área de competência do Ministério da Integração Nacional, a formulação e condução da política nacional de irrigação, por força do inciso X do art. 45 da Lei 13.502, de 1º de novembro de 2017.

Atualmente a Lei 13.844, de 18 de junho de 2019, que “Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios”, por conversão da Medida Provisória 870, editada no primeiro dia do atual Governo, no inciso X de seu art. 21, fixa como área de competência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, além de tantas outras, a irrigação e a infraestrutura hídrica para produção agropecuária observadas as competências do Ministério do Desenvolvimento Regional, que, de sua vez, obteve, pelo mesmo diploma legal, a fixação de sua competência para realizar a Política Nacional de Irrigação, Pasta que tem, também, por força da alínea “c” do inciso XIX do art. 29 do mesmo diploma legal, a competência para realizar planos, programas, projetos e ações de irrigação.

1.2 Breve retrospectiva histórico-legislativa sobre o tema

Bem antes da promulgação de nossa Carta Política de 1988, Plínio Lemos, Constituinte de 1946, em discurso sobre o tema, no âmbito daquela ANC, já fazia registro de que

a Inspetoria de Obras Contra Secas, criada pelo Decreto 7.619, de 21 de outubro de 1909, teve como objetivo primordial, no Nordeste brasileiro, a realização de estudos e serviços de estrada de ferro de penetração; estradas de ferro afluentes das principais; estradas de rodagem e outras vias de comunicações entre os pontos flagelados, os centros produtores e os melhores mercados; açudes e poços tubulares com canais de irrigação (LEMOS, 1946, p.168).

prospectando a necessidade de empenho governamental de acautelhar o futuro de uma produção agrícola nacional próspera com a irrigação.

Isso, vale dizer, além de

barragens transversais submersas e outras obras destinadas a modificar o regime torrencial dos cursos d’água; drenagem dos vales desaproveitáveis do litoral e melhoramento das terras cultiváveis do interior; estudos sistematizados das condições meteorológicas, geológicas e topográficas das zonas assoladas; instalações de observatórios meteorológicos e estações pluviométricas; conservação e reconstituição das florestas e, finalmente, outros trabalhos cuja utilidade contra os efeitos das secas a experiência fosse demonstrando (LEMOS, 1946, p.168).

Noticiava, Plínio Lemos, que, àquele tempo, áreas esquecidas do País teriam sofrido sensível desenvolvimento “com a construção de 90 km de canais de drenagem e 313 de irrigação, dominando uma área superior a 10.000 hectares, dos quais 5.000 em pleno aproveitamento: 2.000 da bacia de irrigação e 3.000 da bacia hidráulica, a cargo do serviço agroindustrial do Departamento” (LEMOS, 1946, p.189).

Manoel Novaes também insistia que,

Se empreendemos através da Inspetoria de Obras Contra as Secas, a construção de açudes, como meio de fornecer água às populações e usar essa água para irrigação dos terrenos marginais, visando a fixação do homem à terra, com muito mais razão deveríamos, dentro do programa de combate à seca, aproveitar o São Francisco, o que não requereria maiores obras por parte do Governo Federal (LEMOS, 1946, p.310).

O São Francisco resolveria, dizia ele, pelo menos, o problema das secas, no sertão de Alagoas, Pernambuco, Bahia e Sergipe. “Foi a irrigação que enriqueceu os Estados-Unidos. Foi

com a irrigação que o Peru passou, inopinadamente, da fase decadente da mineração para a formação de grandes riquezas agrícolas, inclusive a produção do melhor tipo de algodão obtido com o degelo dos Andes”, argumentava outro Constituinte daquela época, Freitas Cavalcanti.

Foram esforços parlamentares no sentido da importância da irrigação que fizeram com que o tema chegasse a constar do texto do §18 do art. 164 do projeto da Carta de 1946, no Capítulo III - Dos Direitos Sociais - do Título V - Dos Direitos Fundamentais (LEMONS, 1946). Não chegamos a tanto, nem naquela e nem na Carta de 1988, mas, nesta, a irrigação ganhou evidência ao ascender a tema com envergadura constitucional.

Cito, como demonstração disso, primeiro, o §3º do art. 43 de nossa Lei Fundamental. Neste dispositivo, fica registrado, de modo expresso, que, para efeitos administrativos, a União deve articular sua ação em um mesmo complexo geoeconômico e social, visando a seu desenvolvimento e à redução das desigualdades regionais e, que, quanto a incentivos regionais, serão compreendidos, entre outros, prioridade para o aproveitamento econômico e social dos rios e das massas de água represadas ou represáveis nas regiões de baixa renda, sujeitas a secas periódicas. Nessas áreas, deve a União incentivar a recuperação de terras áridas cooperando com os pequenos e médios proprietários rurais para o estabelecimento, em suas glebas, de fontes de água e de pequena irrigação.

Esse espírito se espalhou por toda a Carta Maior de modo convergente com outros dispositivos constitucionais, como se vê da redação do art. 187, quando a Constituição fixa critérios para o planejamento da política agrícola no Brasil. Neste passo, fica estabelecido que a política agrícola será planejada e executada na forma da lei, com a participação efetiva do setor de produção, envolvendo produtores e trabalhadores rurais, bem como dos setores de comercialização, de armazenamento e de transportes, levando em conta, especialmente, dentre outros aspectos que enuncia, a eletrificação rural e a irrigação (art. 187, VII, CF). Também da leitura do art. 42, com redação dada pela Emenda Constitucional 89, de 2015, que estabelece deva a União aplicar, dos recursos destinados à irrigação, 20% para a Região Centro-Oeste, e 50% na Região Nordeste, preferencialmente no Semiárido (art. 42, I e II, CF).

Tudo, vale dizer, em harmonia com os fundamentos de nossa Federação, em especial os da cidadania, da dignidade humana e dos valores sociais do trabalho e da livre iniciativa (art.1º, II, III e IV, CF) para o alcance de seus objetivos expressos de construir uma sociedade livre, justa e solidária, com desenvolvimento nacional que seja capaz de erradicar a pobreza e a marginalização e reduzir as desigualdades sociais e regionais, sem descuidarmos da promoção do bem de todos, sem preconceitos ou discriminações de qualquer natureza (art. 3º, I a IV, CF).

Foi com essa orientação constitucional, portanto, que a regulamentação infraconstitucional do tema foi articulada no Brasil. Aparentemente o legislador brasileiro conseguiu instrumentalizar uma Política Nacional de Irrigação como queria os Constituintes de 1946 e de 1988, ainda que no mundo real ainda tenhamos de contornar diversas dificuldades práticas e políticas. Avançamos, não tanto quanto gostaríamos e poderíamos, mas certamente de modo a atender, quantitativa e qualitativamente, aos propósitos idealizados na Carta Política de 1988: produção suficiente, eliminação de desigualdades sociais ainda por se intensificar e preservação do meio ambiente para as gerações vindouras.

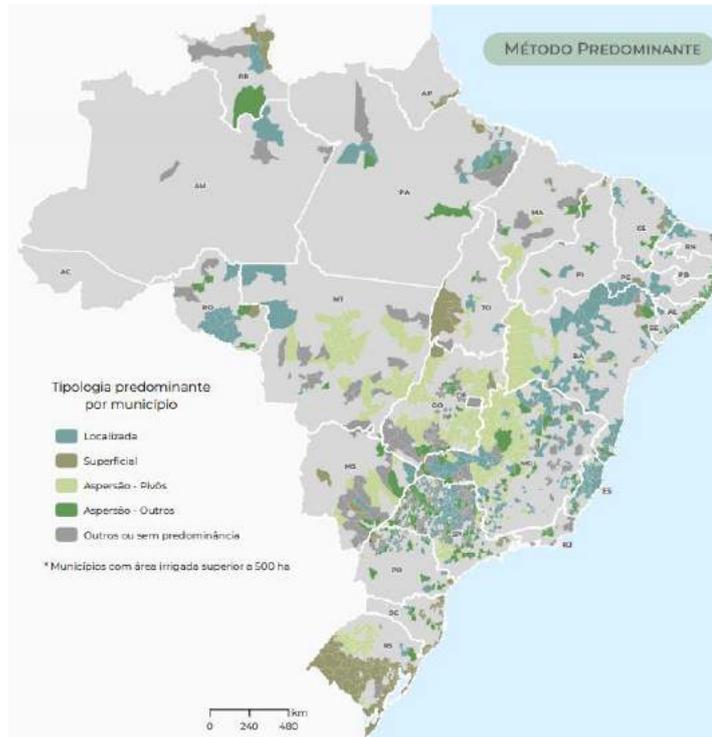


Figura 1. Culturas irrigadas predominantes no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

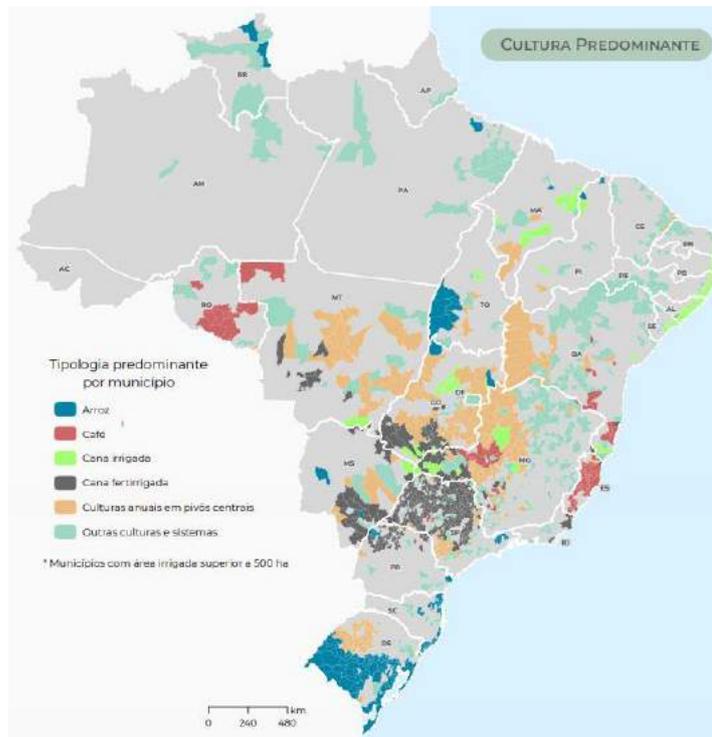


Figura 2. Métodos de irrigação predominantes no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Tabela 1. Culturas irrigadas predominantes no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Cultura	Área (ha)	%
Cana irrigada	747.290	9,12%
Arroz	1.304.007	15,91%
Café	449.283	5,48%
Demais culturas em pivôs centrais	1.445.111	17,63%
Demais culturas e sistemas	1.345.784	16,42%
SUBTOTAL	5.291.475	64,57%
Outras áreas irrigadas	5.291.475	64,57%
Cana fertirrigada	2.903.915	35,43%
TOTAL	8.195.390	100,00%

1.3 Política nacional de irrigação

A digressão realizada sobre a Política Nacional de Irrigação (Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013) no país confirma já existir, no passado, a grande importância política dada à irrigação tal qual é dada no presente pela legislação atual que foi editada, no entanto, com uma conformação jurídica mais atenta à eficácia esperada na dimensão social de sua prática. Nesse contexto, a constatação a que se chega, a partir do que exprime a legislação, como visto, é o fato de a irrigação constituir-se uma necessidade material do desenvolvimento socioeconômico do país que se coloca, como tal, acima de ideologias de governo e ou discursos de oportunidade.

No período anterior à edição da Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013, o Brasil tinha por Política Nacional de Irrigação aquela que foi instituída pela Lei 6.662, de 25 de junho de 1979, editada no Governo João Figueiredo, o que, ligada às menções feitas às pretensões legislativas citadas no âmbito da ANC de 1946 (na qual, como visto, já se debatia a constitucionalização dos objetivos buscados pela Inspeção de Obras Contra Secas, criada pelo Decreto 7.619, de 21 de outubro de 1909), demonstra não só a continuidade do debate acerca de irrigação no Brasil, mas, também, o sentimento nacional acerca de sua importância.

Segundo o texto revogado da Lei 6.662, de 25 de junho de 1979, a Política Nacional de Irrigação já tinha como objetivo o aproveitamento racional de recurso de água e solos para a implantação e desenvolvimento da agricultura irrigada, atendidos os postulados básicos do estímulo e maior segurança às atividades agropecuárias, prioritariamente nas regiões sujeitas a condições climáticas adversas; da promoção de condições que possam elevar a produção e a produtividade agrícolas; da atuação principal ou supletiva do Poder Público na elaboração, financiamento, execução, operação, fiscalização e acompanhamento de projetos de irrigação, mas, também, o da preeminência da função social e utilidade pública do uso da água e solos irrigáveis (inciso I, art. 1º).

Já estabelecia, mencionado diploma legal, que o aproveitamento de águas e solos, para fins de irrigação, deveria reger-se pelas disposições da Política Nacional de Irrigação de então, mas, também, no que coubesse, pela legislação sobre águas, sendo que o regime de uso de águas e solos para fins de irrigação deviam obedecer aos princípios da utilização racional das águas e solos irrigáveis, atribuindo-se prioridade à utilização que assegurasse maior benefício socioeconômico; e o da definição dos deveres dos concessionários e usuários de água, objetivando a utilização racional dos sistemas de irrigação, segundo o interesse público e social

(incisos I e IV do art. 2º). Programa de Irrigação, for fim, era o conjunto de ações que tinha por finalidade o desenvolvimento socioeconômico de determinada área do meio rural, através da implantação da agricultura irrigada (art. 6º).

E, se olharmos para o Parlamento para perscrutar qual sua tendência sobre o tema, veremos que essa será a visão que teremos da irrigação também no futuro. A pesquisa de iniciativas parlamentares sobre irrigação na Câmara dos Deputados aponta a existência de 2.277 proposições atinentes a irrigação, das quais 827 estão tramitando. São proposições de parlamentares de todos os partidos políticos com representação na Câmara dos Deputados cujos autores contemplam a representação de todos os 27 Entes da Federação. Das propostas em tramitação, 765 foram apresentadas após a edição da Lei 12.787, de 2013, sendo que 36 delas são de 2020, o que demonstra tratar-se de tema que não saiu da pauta política do Parlamento brasileiro.

A atual Política Nacional de Irrigação, de sua vez, foi introduzida sob nova formulação com a transformação na Lei 12.787 de 2013 de projeto (PL 229/1995) que, em 2005, transformou-se no Projeto de Lei do Senado (PLS/6381), assinado pelo então presidente do Senado, Renan Calheiros. O projeto tinha sido aprovado na Câmara dos Deputados, na forma do substitutivo formulado pelo deputado Afonso Hamm (PP-RS), relator do PL na Comissão de Agricultura. No Senado, o projeto foi aprovado com incentivos fiscais para projetos de irrigação, exigida a observância de critérios de sustentabilidade, com uso da água dependente da outorga concedida por órgão federal ou estadual e a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação. O que se apresentava como desafio àquela altura era o controle e a democratização do uso da água em projetos de irrigação e o estímulo para efetiva ampliação da irrigação no País frente à queda que se verificava ocorrente no crescimento anual da área irrigada.

Esta Lei, que revoga a legislação anterior sobre a matéria, dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, na qual fica estabelecido, em seis capítulos, diversos conceitos, princípios, objetivos, instrumentos, e regras para a implantação de projetos de irrigação no País, no âmbito do que configura nossa Política Nacional de Irrigação. Nela, ficam definidos, para efeito de sua disciplina, o que sejam agricultor irrigante, agricultor irrigante familiar, agricultura irrigada, projeto de irrigação, infraestrutura de apoio à produção, infraestrutura das unidades parcelares, infraestrutura social, unidade parcelar, serviços de irrigação, módulo produtivo operacional e gestor do Projeto Público de Irrigação (art. 2º, I a XVII). Esses elementos constitutivos da prática da irrigação no Brasil, atentos aos ditames constitucionais citados, devem obediência a diversos princípios. São eles os arrolados nos incisos I a V do art. 3º da Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013 já citada:

Art. 3º A Política Nacional de Irrigação rege-se pelos seguintes princípios: I - uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação; II - integração com as políticas setoriais de recursos hídricos, de meio ambiente, de energia, de saneamento ambiental, de crédito e seguro rural e seus respectivos planos, com prioridade para projetos cujas obras possibilitem o uso múltiplo dos recursos hídricos; III - articulação entre as ações em irrigação das diferentes instâncias e esferas de governo e entre estas e as ações do setor privado; IV - gestão democrática e participativa dos Projetos Públicos de Irrigação com infraestrutura de irrigação de uso comum, por meio de mecanismos a serem definidos em regulamento; V - prevenção de endemias rurais de veiculação hídrica.

com os objetivos fixados no seu art. 4º:

Art. 4º A Política Nacional de Irrigação tem por objetivos: I - incentivar a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis; II - reduzir os riscos climáticos inerentes à

atividade agropecuária, principalmente nas regiões sujeitas a baixa ou irregular distribuição de chuvas; III - promover o desenvolvimento local e regional, com prioridade para as regiões com baixos indicadores sociais e econômicos; IV - concorrer para o aumento da competitividade do agronegócio brasileiro e para a geração de emprego e renda; V - contribuir para o abastecimento do mercado interno de alimentos, de fibras e de energia renovável, bem como para a geração de excedentes agrícolas para exportação; VI - capacitar recursos humanos e fomentar a geração e transferência de tecnologias relacionadas a irrigação; VII - incentivar projetos privados de irrigação, conforme definição em regulamento.

contando com os instrumentos previstos no seu art. 5º:

Art. 5º São instrumentos da Política Nacional de Irrigação: I - os Planos e Projetos de Irrigação; II - o Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação; III - os incentivos fiscais, o crédito e o seguro rural; IV - a formação de recursos humanos; V - a pesquisa científica e tecnológica; VI - a assistência técnica e a extensão rural; VII - as tarifas especiais de energia elétrica para irrigação; VIII - a certificação dos projetos de irrigação; IX - o Fundo de Investimento em Participações em Infraestrutura (FIP-IE); X - o Conselho Nacional de Irrigação.

Com isso, os Planos de Irrigação devem orientar o planejamento e a implementação da Política Nacional de Irrigação, em consonância com os Planos de Recursos Hídricos, com diagnóstico das áreas com aptidão para agricultura irrigada, em especial quanto à capacidade de uso dos solos e à disponibilidade de recursos hídricos; hierarquização de regiões ou bacias hidrográficas prioritárias para a implantação de projetos públicos de agricultura irrigada, com base no potencial produtivo, em indicadores socioeconômicos e no risco climático para a agricultura; levantamento da infraestrutura de suporte à agricultura irrigada, em especial quanto à disponibilidade de energia elétrica, sistema de escoamento e transportes; e indicação das culturas e dos sistemas de produção, dos métodos de irrigação e drenagem a serem empregados e dos arranjos produtivos recomendados para cada região ou bacia hidrográfica (art. 6º, I a IV).

Essa Política Nacional de Irrigação conta com o Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação, destinado a coleta, processamento, armazenamento e recuperação de informações referentes à agricultura irrigada (caput do art. 8º) que deve manter um cadastro nacional único dos agricultores irrigantes (§ 2º, art. 8º) que opera obedecendo a princípios de cooperação institucional para obtenção e produção de dados e informações; coordenação unificada e acesso da sociedade aos dados e às informações (art. 9º). Tudo com o objetivo de fornecer subsídios para a elaboração de planos de irrigação pela União, Estados e Distrito Federal; permitir a avaliação e a classificação dos Projetos Públicos de Irrigação segundo seus resultados sociais e econômicos para facilitar a disseminação de práticas que levem ao êxito dos projetos; e também para subsidiar o planejamento da expansão da agricultura irrigada (art. 10).

Para tanto a Política Nacional de Irrigação conta com incentivos fiscais, crédito e seguro rural (artigos 11, 12, 13 e 14), incentivo à formação de recursos humanos, pesquisa científica e tecnológica, assistência técnica e treinamento (artigos 15, 16 e 17), certificação própria e específica (art. 19) e financiamento (art. 20), segundo regras de implantação de projetos em atendimento a regras de licenciamento ambiental (art. 22) e prévia outorga do direito de uso de recursos hídricos (art. 23). Os Projetos Públicos de Irrigação, de seu lado, poderão ser custeados pela União, Estados, Distrito Federal ou Municípios, isolada ou solidariamente, sendo, neste caso, a fração ideal de propriedade das infraestruturas proporcional ao capital investido (art. 24) podendo ser implantados diretamente pelo poder público mediante concessão de serviço público, precedida ou não de execução de obra pública, inclusive na

forma de parceria público-privada; e ou mediante permissão de serviço público (art. 25), obedecidas regras legais específicas (artigos 26 a 40).

1.4 O que esperar da política nacional de irrigação

Não podemos, ainda, afirmar exitoso o fomento articulado entre administração e legislação sob o ponto de vista social porque o Brasil é, inegavelmente, um País desigual; nem tampouco quanto à expansão possível da irrigação no território nacional, porque certamente poderíamos ter ido para muito além do que fomos. Mas, de certo modo, podemos comemorar essa perenidade da preocupação que se tem tido com a atividade, sob o ponto de vista institucional, e que redundou em certo avanço da área irrigada no Brasil.

1.5 Considerações finais

No momento em que a FAO foi criada, em 1946, o mundo acreditava que “paz” e “alimentos em abundância” concatenados seriam capazes de garantir segurança alimentar a todos os habitantes do planeta. Ao final da Segunda Guerra Mundial, a organização nascia, então, com essa orientação. Foi por essa razão que o primeiro diretor-geral da FAO, John Boyd Orr, recebeu o Prêmio Nobel da Paz, em 1949. O reconhecimento da relação entre paz e disponibilidade de alimentos foi reforçado em 1970, quando o agrônomo Norman Borlaug, propulsor da Revolução Verde, também foi agraciado com o Nobel da Paz (SILVA, 2009).

Assim é que, neste âmbito, ao lado do desenvolvimento de técnicas capazes de possibilitar duas safras ou mais ao ano, a transformação das terras improdutivas do cerrado brasileiro em um dos maiores celeiros agrícolas mundiais, reconhecida internacionalmente como uma das maiores contribuições das ciências agrícolas no Século XX, colocou o Brasil em uma situação de destaque no que diz respeito à busca da segurança alimentar em nível global.

Dois brasileiros, Alysson Paolinelli, ex-ministro da Agricultura, e Edson Lobato, pesquisador da Embrapa, e o americano Colin McClung, que contribuíram decisivamente para essa transformação, foram agraciados com o *World Food Prize*, o "Nobel da Alimentação, em cerimônia realizada em outubro de 2006, em Des Moines, capital de Iowa, nos EUA. O prêmio é concedido anualmente, desde 1987, pela *The World Food Prize Foundation*, uma das mais renomadas instituições americanas ligadas a produção de alimentos e ao combate à fome, a personalidades que se destacam no campo da produção de alimentos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

Com as possibilidades da agricultura tropical o Brasil alcançou forte condição concorrencial em face das demais nações exportadoras de alimentos, ao mesmo tempo em que, com suas inovações tecnológicas, ganhos expressivos foram proporcionados ao meio ambiente, na medida em que o aumento da produtividade e da produção alcançados reduziram a demanda por novas áreas reservadas à produção. Mas não só por isso. Com inovações tecnológicas, como o sistema de manejo integrado ILPF (lavoura, pecuária e floresta) desenvolvido por instituições brasileiras de pesquisa, uma nova realidade no campo brasileiro pode ser vislumbrada, de uma agropecuária cada vez mais eficiente e sustentável. Com ele, o Brasil já consegue recuperar solos para a agricultura e para a pecuária, tornando essas atividades mais rentáveis e mais equilibradas sob o ponto de vista ambiental, na medida em que possibilita maior produção de biomassa na forma de pastagens, silagens, grãos e árvores, com maior sequestro de carbono e maior devolução de oxigênio à atmosfera.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. Ed. Brasília, 130p., 2021.
- BRASIL. Decreto 7.619, de 21 de Outubro de 1909. Approva o regulamento para organização dos serviços contra os efeitos das seccas. *Diário Oficial*, p.7702, 26 out. 1909. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.7905, 31 out. 1909.
- BRASIL. Lei 6.662 de 25 de Junho de 1979. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providências. **DOFC**, 26 jun. 1979.
- BRASIL. Lei 8.028 de 12 de Abril de 1990. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.7096, 13 abr. 1990.
- BRASIL. Lei 8.490 de 19 de Novembro de 1992. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.16061, 19 nov. 1992.
- BRASIL. Lei 9.649 de 27 de Maio de 1998. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.5, 28 mai. 1998.
- BRASIL. Lei 10.683 de 28 de Maio de 2003. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.2, 29 mai. 2003.
- BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 jan. 2013.
- BRASIL. Lei 13.341 de 29 de Setembro de 2016. Altera as Leis 10.683, de 28 de maio de 2003, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e 11.890, de 24 de dezembro de 2008, e revoga a Medida Provisória 717, de 16 de março de 2016. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.2, 30 set. 2016.
- BRASIL. Lei 13.502 de 1º de Novembro de 2017. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios; altera a Lei 13.334, de 13 de setembro de 2016; e revoga a Lei 10.683, de 28 de maio de 2003, e a Medida Provisória 768, de 2 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.1, 3 nov. 2017.
- BRASIL. Lei 13.844 de 18 de Junho de 2019. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios; altera as Leis 13.334, de 13 de setembro de 2016, 9.069, de 29 de junho de 1995, 11.457, de 16 de março de 2007, 9.984, de 17 de julho de 2000, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, 8.001, de 13 de março de 1990, 11.952, de 25 de junho de 2009, 10.559, de 13 de novembro de 2002, 11.440, de 29 de dezembro de 2006, 9.613, de 3 de março de 1998, 11.473, de 10 de maio de 2007, e 13.346, de 10 de outubro de 2016; e revoga dispositivos das Leis nos 10.233, de 5 de junho de 2001, e 11.284, de 2 de março de 2006, e a Lei 13.502, de 1º de novembro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 18 jun. 2019.
- BRASIL. Medida Provisória 813 de 1º de Janeiro de 1995. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.1, 1º jan. 1995.
- CAMPOS, R.; PIRES, G.F.; COSTA, M.H. Soil carbon sequestration in rainfed and irrigated production systems in a new Brazilian agricultural frontier. **Agriculture**, v.10, n.5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture10050156>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agricultura Tropical: O Brasil produzindo o futuro**, 18p., EMBRAPA, 2006. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/120039/1/Agriculturatropical.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

LEMOS, P. **Anais da Assembleia Nacional Constituinte**, v.10, p.168, 189, 310, 1946.

SILVA, J. G. Guerra e Fome. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2009/01/22/guerra-e-fome-artigo-de-jose-graziano-da-silva/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

CAPÍTULO 2

2 A IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO NO BRASIL: HISTÓRIA, SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS

Antônio Felipe Guimarães Leite e Frederico Cintra Belém

Resumo

O Brasil está no seleto grupo de países que poderão expandir a agricultura irrigada nos próximos anos. Atualmente, a área irrigada no Brasil é de cerca de 8 milhões de hectares, podendo alcançar 50 milhões de hectares, em bases ambientalmente sustentáveis. A Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013, que instituiu a Política Nacional de Irrigação (PNI), trouxe instrumentos importantes para a construção da PNI e o Ministério do Desenvolvimento Regional é o responsável pela implementação da referida Política, observadas as competências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Em todo o mundo a agricultura irrigada esteve alinhada às questões do desenvolvimento regional, social e tecnológico, além da segurança alimentar. Considerando a importância estratégica da agricultura irrigada para as questões do desenvolvimento do país, o Brasil buscou, a partir da primeira metade do século XX, fomentar ações voltadas para a promoção da irrigação. De modo complementar, ao longo da história, a iniciativa privada também desempenhou papel de destaque na construção da agricultura irrigada brasileira. Os Polos de Agricultura Irrigada, iniciativa recente do MDR, reformulou o modo de implementar a PNI; evidenciando alguns gargalos de cunho nacional e que impedem o crescimento da irrigação no Brasil. Estes gargalos ou dificuldades enfrentadas pelo setor estão relacionados a energia elétrica, infraestrutura de transporte, outorga de uso dos recursos hídricos, barramentos para irrigação e licenciamento ambiental. A implementação da PNI, nos próximos anos, dependerá cada vez mais do diálogo do Governo com o setor privado. Dependerá, também, do fomento de iniciativas para a produção de energia elétrica fotovoltaicas; da melhoria de normas para barramentos e emissão de outorgas e de tecnologias de reuso da água para a irrigação no semiárido brasileiro. Para tanto, a revisão da Lei 12.787/2013 é algo que deve ser discutido no Congresso Nacional a partir da escuta dos anseios e dificuldades do setor.

2.1 Introdução

O presente capítulo tem por objetivo descrever, de forma sintetizada, a história das intervenções públicas para o fomento da irrigação no Brasil, que culminaram na estruturação de uma política pública setorial e específica. Objetiva também apresentar a situação da Política Nacional de Irrigação e as perspectivas para sua implementação.

Sendo assim, esses objetivos estão estruturados, neste capítulo, em duas partes, que se coadunam em um conjunto de esforços realizados pelo Estado brasileiro, em diferentes épocas, para apoiar e difundir a tecnologia da irrigação.

É importante destacar que as análises contidas nesta explanação partem da perspectiva de levantamentos de informações e de aprendizados adquiridos pela área técnica do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) que, ao longo desses anos acumulou as atribuições relativas à condução da Política Nacional de Irrigação, Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013. O MDR é o responsável pela condução da Política Nacional de Irrigação, conforme previsto na Lei 13.844, de 18 de junho de 2019, observadas as competências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

2.2 O Estado e a irrigação no Brasil: esforço para a difusão da tecnologia com vistas ao desenvolvimento regional

O Estado brasileiro, por meio do Governo Federal, buscou, ao longo do tempo, desempenhar papel de destaque na difusão da irrigação no país, uma vez que o uso desta tecnologia demonstra possuir papel importante para desenvolvimento regional, a geração de riquezas e a segurança alimentar.

A percepção do Estado e de suas instituições, a respeito das vantagens da agricultura irrigada em solo brasileiro, seguiu um entendimento que se repete na história de vários países, ou seja, da necessidade de alinhar, por meio de políticas setoriais e de normas, os processos produtivos à disponibilidade de água, entendendo que a água é vetor de desenvolvimento e prosperidade para as populações.

Entretanto, esta "percepção" ocorreu de forma gradual, de modo que é possível afirmar que sua construção depreendeu de avanços de iniciativas particulares ou privadas que foram sendo constituídas no território e que impulsionaram o poder público, ao longo do tempo.

A bibliografia aponta que não há registro de que os povos indígenas empregavam a irrigação no país, uma vez que o uso desta técnica iniciou pós Descobrimento. Estima-se que o primeiro projeto implantado tenha sido na Fazenda Santa Cruz, no estado do Rio de Janeiro, pelos Padres Jesuítas, por volta de 1589 (BERNARDO *et al.*, 2019).

Com a entrada e a fixação de colonizadores na região central do Brasil, o emprego da construção de regos (irrigação por superfície) foi bastante utilizado nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia, para irrigação de plantas frutíferas, em quintais, e de cana-de-açúcar, em fazendas.

No Vale do Rio Corrente, bacia do Rio São Francisco, especialmente, na região da Água Quente, do Brejo do Espírito Santo e da Fazenda São Lourenço, no município de Santa Maria da Vitória, o emprego de irrigação por regos e sulcos tiveram papel fundamental para a produção de rapadura e o crescimento do comércio no porto da cidade, já no final do século XIX.

Entretanto, foi no Rio Grande do Sul que a irrigação ganhou escala maior. É provável que nessa região, ela tenha iniciado em 1881, por iniciativa privada, com a construção do reservatório Cadro, para irrigar a cultura do arroz (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008).

A partir do início do século XX, as ações públicas começaram a ganhar expressão em obras de infraestrutura hídrica, com o intuito de garantir o abastecimento de água para a população e que, mais tarde, possibilitaram a implantação dos primeiros projetos públicos de irrigação, na região nordeste.

Neste período, destacam-se duas ações importantes implementadas pelo Governo, quais sejam: (i) a criação, em 1909, da Inspetoria de Obras contra as Secas (IOCS), transformada, mais tarde, no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), e (ii) a criação, em 1967, da Superintendência do Vale do São Francisco, mais tarde, transformada em Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf).

Tanto o DNOCS quanto a Codevasf foram responsáveis por uma mudança profunda no desenho econômico e social do nordeste brasileiro, utilizando, para isso, a atividade produtiva da agricultura irrigada. O complexo irrigado Petrolina (PE) e Juazeiro (Bahia) é um exemplo de como o desenvolvimento regional foi possibilitado a partir da irrigação e, também, evidencia o papel do Estado, por meio da Codevasf, no fomento ao desenvolvimento regional.

Nas décadas de 60 e de 70, duas ações subsidiaram, respectivamente, a maneira de planejar a condução das ações relativas à irrigação, sendo elas: (i) a criação do Grupo de Estudos Integrados de Irrigação e Desenvolvimento Agrícola (GEIDA); e (ii) a criação do Programa Plurianual de Irrigação (COELHO NETO, 2009).

O Programa Plurianual de Irrigação foi um marco, pois possibilitou orientação para o estado brasileiro em relação a condução da agricultura irrigada, apontando os seus benefícios, levantando informações e estabelecendo metas a serem alcançadas pelo estado. O Programa deu destaque a ações nas regiões nordeste, sudeste e sul.

Outro ponto a ser destacado no Programa foi a oportunidade dada a iniciativa privada para a participação da expansão da agricultura irrigada, por meio do Programa Nacional para o Aproveitamento Racional das Várzeas Irrigáveis (PROVÁRZEAS).

De modo paralelo, o debate para a construção de um marco legal sobre irrigação ganhava força, tendo sido iniciado em 1959, e culminado com a Lei 6.662, de 25 de junho de 1979.

A Lei da Irrigação ou da Política Nacional de Irrigação foi instituída com foco nos projetos públicos de irrigação, direcionando a condução da política para ações intervencionistas. A referida lei foi regulamentada pelo Decreto 89.496, de 29 de março de 1984.

De modo continuado, na década de 80, destacaram-se outros programas relevantes para a irrigação brasileira, a exemplo da instituição do Programa de Irrigação do Nordeste (PROINE) e do Programa Nacional de Irrigação (PRONI), ambos em 1986, que definiram atribuições e fixaram metas desafiadoras para ampliar as áreas irrigadas no Brasil (FEITOSA *et al.*, 2014).

Nesta fase, o Governo Federal estabeleceu prioridades junto ao setor privado, para implementação de projeto subsetorial de irrigação com infraestrutura de apoio à iniciativa privada, definindo mais especificamente os papéis entre o setor público e a iniciativa privada, no desenvolvimento de projetos de irrigação. Além disso, focou as ações governamentais na execução de obras coletivas de grande porte (macrodrenagem, suporte hidráulico e elétrico), cabendo à iniciativa privada as demais providências para a sua consecução (HENZI, 2002).

Com o objetivo de gerenciar o Proni, o Governo Federal criou a estrutura do Ministério Extraordinário para Assuntos de Irrigação e ficaram vinculados a ele, o DNOCS, a Codevasf e o DNOS.

O Programa tinha como objetivo geral elevar o nível de garantia das safras e aumentar a oferta de alimentos básicos para o abastecimento do mercado interno, viabilizando por meio da irrigação a melhoria da produtividade, o uso racional dos recursos naturais e técnicos nas propriedades rurais.

A meta do PROINE era aumentar em 400% as áreas irrigadas no Nordeste brasileiro, com a perspectiva de crescimento de 1 milhão de hectares em cinco anos, sendo que 60% dessa área seria incrementada pela iniciativa privada. Para isso, a proposta era alavancar linhas de crédito que impulsionariam a iniciativa privada.

O PROINE fortaleceu, sobremaneira, a implantação de projetos públicos no Nordeste. A estimativa era que, cerca de 400 mil hectares, seriam ampliados a partir dos perímetros públicos e que estes serviriam de núcleos de desenvolvimento rural, trazendo benefícios para as populações locais, reduzindo o êxodo rural do Nordeste.

No ano de 1999, foi elaborado o "Projeto Novo Modelo de Irrigação", integrado ao Programa Avança Brasil. Este projeto reuniu a participação de diversos agentes e organismos

estatais, consultorias privadas, empresários agrícolas e consultores individuais de países com experiência em agricultura irrigada. No processo de elaboração desse projeto, foram definidas as bases estruturais, conceptuais e regulatórias, operacionais e financeiras da política nacional de irrigação (BANCO DO NORDESTE, 2001).

Tabela 1. Principais marcos, planos e programas relacionados à agricultura irrigada no país.

N.º	Instrumento legal	Ementa
1	Decreto 7.619, de 21/10/1909	Cria a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS)
2	Decreto 13.687, de 09/07/1919	Transforma a Inspetoria de Obras Contra as Secas em Inspetoria Federal de Obras contra as Secas (IFOCS)
3	Decreto 24.643, de 10/07/1934	Decreta o Código das Águas
4	Decreto-Lei 852, de 1938	Introduz modificações no Código das Águas
5	Decreto-Lei 8.486, de 28/12/45	Estrutura o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS)
6	Lei 541, de 15/12/1948	Cria a Comissão do Vale do São Francisco (CVSF)
7	Lei 4.771, de 15/09/1965	Institui o Código Florestal
8	Decreto-Lei 200, de 25/02/1967, passando a vigorar em 15/03/1967	Aprova a Reforma Administrativa, instituindo o Ministério do Interior
9	Decreto-Lei 292, de 28/02/1967	Cria a Superintendência do Vale do São Francisco–SUVALE e extingue a Comissão do Vale do São Francisco
10	Decreto 63.775, de 11/12/1968	Cria o Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola, no âmbito do Ministério do Interior
11	Lei 6.088, de 16/07/1974	Cria a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco–Codevasf para suceder a SUVALE.
12	Lei 6.662, de 25/06/1979	Sancionada a Lei de Irrigação que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos
13	Decreto 86.146, de 23/06/1981	Implementado o Programa de Aproveitamento das Várzeas Irrigáveis–PROVARZEAS NACIONAL, pelo Ministério da Agricultura
14	Lei 6.938, de 31/08/1981	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente
15	Decreto 86.912, de 10/02/1982	Instituído o Programa de Financiamento para Equipamentos de Irrigação– PROFIR
16	Decreto 89.496, de 29/03/1984	Regulamenta a Lei de Irrigação 6.662/79
17	Decreto 92.344, de 29/01/1986	Instituído o Programa de Irrigação do Nordeste– PROINE
18	Decreto 92.395, de 12/02/1986	Instituído o Programa Nacional de Irrigação– PRONI
20	Lei 12.787, de 11/01/2013	Dispõem sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002

Nos anos subsequentes, a Política Nacional de Irrigação se concentrou ainda mais nos projetos públicos, tendo duas frentes de atuação: (i) a implementação de projetos novos; e (ii) a revitalização de projetos antigos.

Em 2011, por meio do Decreto número 7.472, de 4 de maio de 2011, foi criada, no âmbito da estrutura do Ministério da Integração Nacional, a Secretaria Nacional de Irrigação, com a missão de formular e conduzir a Política Nacional de Irrigação.

No ano de 2012, o Governo federal lançou o Programa “Mais Irrigação” que estava estruturado em 4 (quatro) eixos, sendo eles: (i) Eixo 1 (um) voltado à atração de investimentos privados por meio de concessão da ocupação agrícola, do investimento em infraestrutura de irrigação e da operação de projetos públicos, promovendo a utilização sustentável dos recursos de água e solo, dinamizando o desenvolvimento regional e gerando emprego e renda; (ii) Eixo 2 (dois) apostava na revitalização de projetos públicos de irrigação para potencializar a produção agrícola, gerando aumento da eficiência e a maior e melhor ocupação das áreas irrigadas; (iii) Eixo 3 (três) estava focado no beneficiamento de pequenos produtores familiares, por meio do apoio e dos incentivos para produzirem de forma eficiente, gerando emprego, renda e qualidade de vida; e (iv) Eixo 4 (quatro) tratava de estudos para a criação de uma carteira de implantação de projetos públicos irrigados.

O Programa “Mais Irrigação” foi desenhado tendo como âncora ações em projetos públicos de irrigação, contudo não resultou em avanços efetivos para o setor.

Em síntese, a Tabela 1 abaixo aponta os principais marcos, Planos e Programas relacionados à agricultura irrigada no país.

Em 2019, houve um novo esforço para reformular e para conduzir às ações atinentes à condução da Política Nacional de Irrigação. Para isso, o Ministério do Desenvolvimento Regional fixou duas estratégias: (i) aproximar a Política Nacional de Irrigação do setor privado, a partir da criação da iniciativa “Polos de Agricultura Irrigada”; e (ii) apoiar ações de melhoria de gestão nos projetos públicos de irrigação.

Aliada a estas estratégias, o Ministério do Desenvolvimento Regional em conjunto com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) formularam uma proposta para a regulamentação da Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013, que deve ser publicada, brevemente.

2.3 Situação da Política Nacional de Irrigação

A segunda parte do capítulo trata do momento atual da Política Nacional de Irrigação (Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013) e as perspectivas para sua implementação que, de certo modo, constituem desafios para a administração pública, em especial, para o Ministério do Desenvolvimento Regional.

Os últimos levantamentos realizados pelo Governo Federal apontaram que cerca de 98% das áreas irrigadas no país estão em projetos privados de irrigação e 2% em Projetos Públicos desse setor. Estes levantamentos destacaram, também, que os projetos privados se desenvolveram desvinculados de uma política pública estruturada.

Conforme visto anteriormente, o Estado brasileiro, nas últimas décadas, empreendeu esforços na promoção dos perímetros públicos de irrigação, fixando a essência da Política na construção dos projetos públicos.

Estes esforços ocorreram tanto para a construção de novos empreendimentos quanto para a revitalização de projetos antigos. Uma ação de maior vulto atrelada a revitalização de projetos de irrigação ocorreu a partir de 2006, no âmbito dos Projetos Pilotos de Investimento.

Entretanto, apesar da importância dos Projetos Públicos de Irrigação, no contexto do desenvolvimento regional, havia nesta estratégia uma visão míope da realidade, tendo em

vista que o Estado se mostrou, por vezes, omissivo no tocante à agricultura irrigada privada, que representa quase a totalidade da irrigação no país.

Colaboram com esta constatação as taxas de crescimento e de expansão das áreas irrigadas no Brasil. Segundo dados levantados pela Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), o país expande sua área irrigada em cerca de 250 mil hectares por ano e este crescimento ocorre em áreas privadas.

Sendo assim, não é possível falar sobre a expansão da irrigação no país, centralizando ações em Projetos Públicos de Irrigação.

É nesse contexto que, em 2019, o Ministério do Desenvolvimento Regional optou em reformular o modo de conduzir as ações para a implementação da Política Nacional de Irrigação.

Para tanto, o MDR adotou duas apostas estratégicas, a saber: (i) apoiar ações de melhoria de gestão nos projetos públicos de irrigação; e (ii) aproximar a Política Nacional de Irrigação ao Setor privado, a partir da iniciativa "Polos de Agricultura Irrigada" e de outras iniciativas vinculadas aos instrumentos da Política.

Além destas apostas estratégicas, o MDR propôs a estruturação de dois pilares para a condução da Política, sendo eles: (i) a criação da Câmara Técnica-Setorial de Produção Irrigada, que objetiva promover articulação das diferentes instâncias e esferas de governo e do setor privado, de modo a contribuir para o desenvolvimento da produção irrigada no Brasil; e (ii) a criação da iniciativa Unidades de Referência em Produção Irrigada, como instrumento para a promoção de capacitação e de pesquisa em irrigação.

A seguir, serão apresentadas duas estratégias propostas pelo MDR para a condução da Política Nacional de Irrigação.

2.4 Apoio à melhoria da gestão dos projetos públicos de irrigação

A proposta de apoio à melhoria da gestão dos projetos públicos de irrigação se justifica pela baixa eficiência e ociosidade de alguns projetos implantados.

Se de um lado há projetos exitosos e que alcançaram os objetivos propostos, alterando a realidade de territórios e de regiões, por outro lado, há projetos que ficaram inacabados, com baixa taxa de ocupação e sem cumprir suas funções primordiais, quais sejam, gerar emprego, renda e desenvolvimento.

Os últimos levantamentos realizados pelo Ministério do Desenvolvimento Regional apontaram que há no Brasil uma área irrigável implantada, em projetos públicos, de mais 300.000 mil hectares e que cerca de 50% destas áreas estão inoperantes, não ocupadas ou sem produção.

É por isso que a estratégia de apoio à melhoria de gestão dos perímetros públicos, no âmbito da implementação da Política Nacional de Irrigação, foi priorizada em detrimento à implantação de novos empreendimentos, num médio prazo de planejamento da Política.

Para tanto, o MDR avançou na criação de metodologia que compreende o diagnóstico dos projetos e a fixação de indicadores de desempenho, de modo a possibilitar uma análise mais precisa quanto à necessidade ou não da intervenção do estado nos projetos. Como ferramenta para execução desta estratégia, o Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação foi posto como algo essencial e que se encontra em processo de contratação pelo Governo.

No escopo da melhoria de gestão dos projetos, o MDR propôs a regulamentação da cobrança da tarifa K1, para o pagamento pela utilização das infraestruturas de irrigação de uso comum, que culminou na Publicação da Portaria MDR 2.005, de 22 de julho de 2020.

Propõem-se ainda a concessão de projetos públicos de irrigação à iniciativa privada, para implantação e exploração dos projetos, como forma de garantir a rápida conclusão das infraestruturas de irrigação e a efetiva ocupação e operação das áreas irrigáveis.

A concessão de projetos se mostra uma alternativa viável em razão da possibilidade de captação de recursos privados para a conclusão ou recuperação de infraestruturas em projetos públicos e, desta forma, possibilitar a operacionalização e o funcionamento dos empreendimentos.

2.5 Aproximar a política nacional de irrigação do setor privado

No tocante à aposta estratégica de aproximar a Política Nacional de Irrigação do setor privado, o Ministério do Desenvolvimento Regional criou, em 2019, a iniciativa "Polos de Agricultura Irrigada".

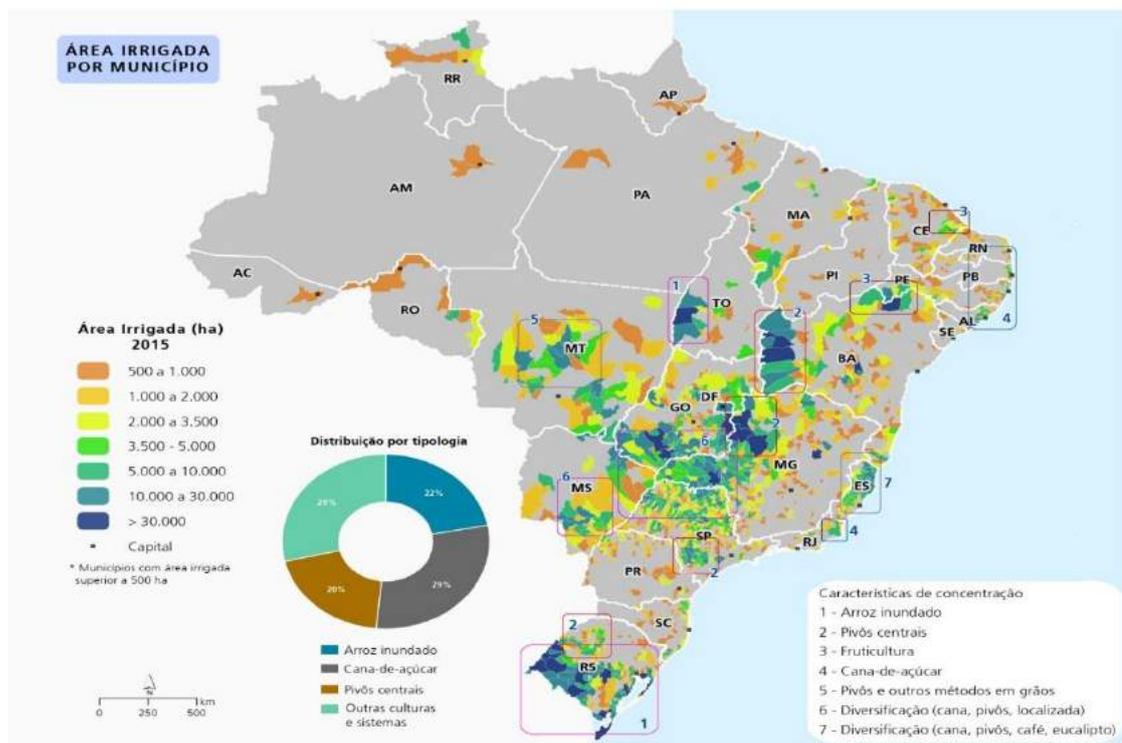


Figura 1. Áreas irrigadas por municípios (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

A ideia dos Polos busca a implementação da Política, considerando: (i) a expansão da área irrigada, a partir da identificação de problemas e de superação de entraves locais; e (ii) a melhoria do ambiente produtivo, por meio da adoção de metodologia de planejamento local e setorial e da criação de uma governança.

Cabe destacar que a concepção da ideia dos polos contou, sobremaneira, com o emprego de informações geradas pela Agência Nacional de Águas, por meio do Atlas Irrigação, que possibilitou ao MDR identificar os adensamentos irrigados no país e traçar uma ação de apoio ao setor.

A Figura 1, retirada do Atlas Irrigação, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017), demonstra a espacialização das áreas irrigadas por município.

O emprego da ação “Polos” possibilitou inverter a maneira de selecionar projetos prioritários em benefício das áreas irrigadas no país. Enquanto nos últimos anos os projetos eram priorizados em altas estâncias de governo, agora, com a metodologia dos polos, os projetos passam a ser priorizados pelos agricultores irrigantes, em um modelo de execução de Política do tipo *bottom-up*.

A iniciativa “Polos de Agricultura Irrigada” foi instituída por meio da Portaria MDR 1.082, de 25 de abril de 2019, alterada pela Portaria MDR 2.154, de 11 de agosto de 2020.

Cabe destacar que a iniciativa está ancorada, quanto à sua metodologia de planejamento, nos seguintes pontos: (i) identificação de áreas no Brasil onde já há irrigação e produtores organizados; (ii) realização de Oficina de Planejamento, nas quais o setor elenca os problemas e propõe soluções, na forma de carteira de projetos; e (iii) criação de um grupo gestor, que passa a ser o elo de governança do Polo junto ao MDR.

Enfatiza-se ainda, que a carteira de projetos do polo, apontada pelo setor produtivo, se divide em quatro eixos de ação, assim descritos: (i) infraestrutura; (ii) normas e meio ambiente; (iii) capacitação, pesquisa e assistência técnica; e (iv) crédito, seguro e incentivos fiscais.

Em 2019 e 2020 foram instituídos seis Polos de Agricultura Irrigada listados a seguir: (i) Polo de Irrigação Sustentável do Vale do Araguaia - Portaria SMDRU 4, de 24 de maio de 2019; (ii) Polo de Agricultura Irrigada da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – Portaria SMDRU 5, de 28 de maio de 2019; (iii) Polo de Irrigação do Planalto Central de Goiás – Portaria SMDRU 2.025, de 23 de agosto de 2019; (iv) Polo de Irrigação Oeste da Bahia – Portaria SMDRU 2.475, de 18 de outubro de 2019; (v) Polo de Irrigação Sustentável do Sul de Mato Grosso - Portaria 1.232, de 29 de abril de 2020; e (vi) Polo de Irrigação Noroeste Gaúcho - Portaria 3.149, de 15 de dezembro de 2020.

A Figura 2, demonstra os locais onde os seis Polos de Agricultura Irrigada foram criados, além de apresentar os dois Polos previstos para serem instituídos, em 2021, a saber: o Polo do Sudoeste Paulista e o Polo do Noroeste de Minas Gerais.

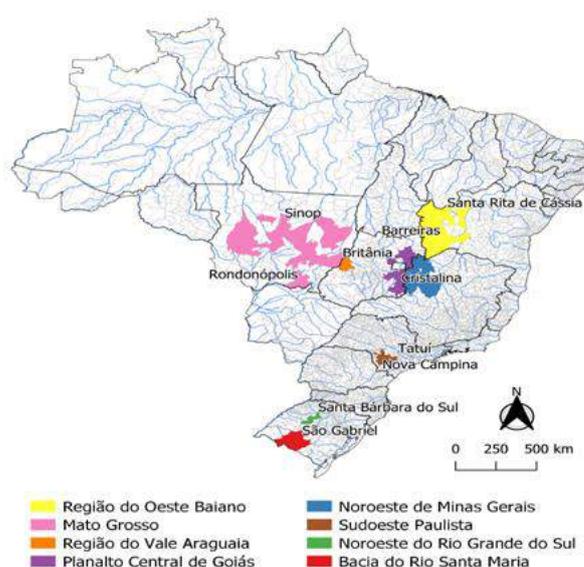


Figura 2. Polos de Agricultura Irrigada instituídos e a serem criados (FAO/Esalq/MDR).

Com relação às necessidades identificadas pelo MDR, nas carteiras de Projetos dos Polos, quatro se repetem de forma sistemática. Neste sentido, estas demandas podem ser consideradas como nacionais ou de repercussão nacional.

A seguir estão listadas as necessidades elencadas pelo setor, no âmbito dos Polos de Agricultura Irrigada, e que são consideradas demandas nacionais: (i) demanda por melhoria das normas para a construção de barramentos para a irrigação; (ii) necessidade de otimização dos processos para a obtenção de outorga do uso da água; (iii) demanda por melhoria na disponibilidade de carga e de rede de energia elétrica; e (iv) necessidade de otimização dos processos de análise para a emissão de licenças ambientais.

A partir destas demandas nacionais e, também, das locais de cada Polo, a condução de ações para a implementação da Política Nacional de Irrigação pode ser desenhada no sentido de superar os entraves e de expandir a área irrigada no Brasil.

De modo a complementar as ações dos Polos e de fomentar as informações disponíveis no tocante aos Projetos Públicos de Irrigação, buscou-se realizar estudos para subsidiar a elaboração do Plano Nacional de Irrigação.

Conforme previsto na Lei 12.787/2013, os Planos de Irrigação visam orientar o planejamento e a implementação da Política Nacional de Irrigação, em consonância com os Planos de Recursos Hídricos.

O emprego de um Plano possibilita inúmeros benefícios, tais como, a determinação de objetivos, o estabelecimento de metas e de métodos, bem como, a locação espacial de atividades a serem desenvolvidas para o efetivo alcance dos objetivos determinados (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005). Tudo isso permite que a administração avalie a condução da política, no tempo, corrigindo a rota de implementação, quando necessário.

Em 2014, em um trabalho conjunto do Ministério da Integração Nacional e da Escola Superior "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (USP), foi elaborado o estudo "Análise Territorial para a Agricultura Irrigada no Brasil".

O referido estudo possibilitou avançar na visão da espacialização das políticas públicas nos territórios, identificando seus impactos e resultados. Além disso, permitiu visualizar de forma clara as configurações estabelecidas, considerando as principais variáveis de interesse para o desenvolvimento da agricultura irrigada, de modo integrado.

O estudo ofereceu os elementos para direcionar os instrumentos e as políticas disponíveis, visando a ampliação da capacidade de dinamização econômica da agricultura e dos territórios de modo geral. Destarte, qualificou ações voltadas para o desenvolvimento de uma agricultura irrigada sustentável.

Como resultado do trabalho, indicou-se um potencial de área irrigável total no país de 67,5 milhões de hectares e destacou que, da área irrigada existente, 37% (2,2Mha) não conta com a possibilidade de expansão devido ao esgotamento da água disponível em suas bacias. Outros 44% (2,7Mha) da irrigação encontram-se em regiões em que há importante possibilidade de expansão, mas fora de áreas de prioridade de intervenção pública. As áreas em que há possibilidade de expansão e que justificam intervenção pública mais expressiva para fins de desenvolvimento sustentável regional representam 19% da área irrigada (1,1Mha) e contém 36% da capacidade adicional de área irrigável (27Mha).

O estudo "Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil" foi aprovado por meio da Portaria MI 115/2015, de 18 de junho de 2015, como parte integrante do Plano Nacional de Irrigação. Ele foi apresentado como uma aproximação do planejamento e da expansão da Agricultura Irrigada no Brasil. A Portaria trouxe ainda em seu artigo 3º uma previsão mínima de atualização a cada 4 anos, do relatório final do estudo "Análise Territorial".

A partir da importância deste estudo, em 2019, o MDR, em parceria com a FAL e a Esalq/USP, desenvolveu o "Plano de Ação Imediata da Agricultura Irrigada no Brasil para o período de 2020-2023", que deve ser publicado brevemente.

Destaca-se, entretanto que, os resultados apresentados pelo referido estudo distinguem áreas com potencial de intensificação de agricultura de sequeiro por meio da irrigação e as áreas com potencial de expansão da agricultura irrigada sobre pastagens consolidadas, considerando a disponibilidade hídrica superficial no território. Além disso, foram apontados os resultados de área adicional irrigável com base na água subterrânea disponível.

2.6 Considerações finais

É importante dizer que, do ponto de vista estratégico, a expansão da agricultura irrigada permite ao país galgar posição de maior destaque no cenário internacional de produção de fibras, alimentos e bioenergias, possibilitando melhorias: (i) na competitividade de produtos; (ii) na geração de riquezas; e (iii) na segurança nacional.

Neste sentido, apesar da importância do setor da agricultura irrigada para o país, é possível afirmar que a Política Nacional de Irrigação carece de um fortalecimento institucional. Atualmente, a condução da Política é realizada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, no âmbito de uma Coordenação-Geral.

Necessita-se formular um Programa de Estado que estabeleça uma estrutura de governo mínima para desenvolver a Política de Irrigação e que trace planos de desenvolvimento da agricultura irrigada pautados em estudos, de modo a orientar as ações a serem desempenhadas nos territórios.

Não obstante, quanto à Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013, é certo que ficará cada vez mais evidente a necessidade de uma revisão da referida lei, no sentido de aproximá-la da realidade da agricultura irrigada moderna, fazendo alcançar melhor a Política Nacional de Irrigação da irrigação privada.

Pontos cruciais como barramentos de água para irrigação e tarifas especiais para agricultura irrigada, bem como, a energia elétrica, fator vital para a irrigação (RODRIGUES; DOMINGUES, 2017), deveriam ser tratados com mais especificidade, dentro da Política de Irrigação, o que não é feito atualmente.

Além desses pontos, o incentivo à implantação de infraestruturas para favorecer a irrigação privada, subsídios para energia renovável e para tecnologias sustentáveis, à exemplo do reúso de água para irrigação, deverão ser cada vez mais demandados no âmbito da Política Nacional de Irrigação.

Especialmente para o nordeste brasileiro, como ocorre em outros países, a questão do reúso da água para a irrigação, deverá ser priorizado. Isso porque, dentre as tecnologias que vem sendo desenvolvidas para racionalizar o uso da água, o reúso de águas servidas é a que possui maior potencial para impactar, positivamente e de forma célere, o emprego eficiente dos recursos hídricos (BRAGA; LIMA, 2014).

A publicação do Decreto de regulamentação da Política, previsto para realizada em breve, deve favorecer a implementação dos instrumentos da Política e possibilitar melhorias nas áreas de informação sobre a agricultura irrigada, sobre capacitação e pesquisa, entre outros.

Na medida em que a Política ganhe força com a implementação de seus instrumentos, deverá haver um movimento cada vez maior para que as demandas do setor cheguem ao Conselho Nacional de Irrigação, para tratar de assuntos e gargalos que tem relação direta com a agricultura irrigada, e, atualmente, estão sendo pautados em outros colegiados.

Entretanto, o êxito da Política Nacional de Irrigação no Brasil, perpassa, sobretudo, por ações de valorização do potencial da agricultura irrigada como vetor de desenvolvimento, de segurança alimentar e de preservação do meio ambiente.

A tecnologia da irrigação precisa ser mais explorada no que tange ao papel que ela representa para a conservação dos biomas brasileiros. Por possibilitar maiores índices de produtividade, a tecnologia favorece o aumento de produção nas regiões, sem a necessidade de abertura de novas áreas.

Destarte, considerando as questões elencadas aqui, é preciso que haja uma reestruturação continuada na condução da Política Nacional de Irrigação e ainda, que favoreça a construção de um diálogo permanente entre o setor produtivo e a sociedade brasileira. Um diálogo que fortaleça a agricultura irrigada a partir dos múltiplos benefícios que a técnica de irrigação pode trazer a sociedade, ao meio ambiente e as regiões do país.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 86p., ANA, 2017.

BANCO DO NORDESTE. **Relatório de Gestão**. 2001. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/50268/54349/df_2001_relatorio_de_gestao.pdf/ab30bacb-cf18-404e-935a-4117cce8eef0. Acesso em: 30 abr. 2021.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. **Manual de Irrigação**. Editora UFRV. 545p., 2019.

BRAGA, B.M.; LIMA, C.E.P. **Reúso de água na agricultura**. Brasília. Embrapa, 2014.

BRASIL. Decreto 7.472 de 4 de Maio de 2011. Aprova a estrutura regimental e o quadro demonstrativo dos cargos em comissão e das funções gratificadas do Ministério da Integração Nacional e dispõe sobre remanejamento de cargos em comissão. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.13, 5 mai. 2011.

BRASIL. Decreto 7.619, de 21 de Outubro de 1909. Aprova o regulamento para organização dos serviços contra os efeitos das seccas. *Diário Oficial*, p.7702, 26 out. 1909. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.7905, 31 out. 1909.

BRASIL. Decreto 24.643 de 10 de Julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Coleção de Leis do Brasil**, v.4, p.679, 10 jul. 1934.

BRASIL. Decreto 63.775 de 11 de Dezembro de 1968. Cria o Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola (GEIDA) e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.10762, 12 dez. 1968.

BRASIL. Decreto 86.146 de 23 de Junho de 1981. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional para Aproveitamento de várzeas Irrigáveis - PROVÁRZEAS NACIONAL. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.11781, 24 jun. 1981.

BRASIL. Decreto 89.496 de 29 de Março de 1984. Regulamenta a Lei 6.662, de 25 de junho de 1979, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providencias. **DOFC**, 30 mar. 1984.

BRASIL. Decreto 92.344, de 29 de Janeiro de 1986. Institui o Programa de Irrigação do Nordeste - PROINE e dá outras providências. **DOFC**, 30 jan. 1986.

BRASIL. Decreto 92.395 de 12 de Fevereiro de 1986. Institui o Programa Nacional de Irrigação - PRONI; atribui a Ministro de Estado Extraordinário a sua execução; e dá outras providencias. **DOFC**, 14 fev. 1986.

BRASIL. Decreto-Lei 200 de 25 de Fevereiro de 1967. Dispõe sobre a organização da Administração Federal, estabelece diretrizes para a Reforma Administrativa e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 27 mar. 1967.

BRASIL. Decreto-Lei 292 de 28 de Fevereiro de 1967. Cria a Superintendência do Vale do São Francisco - SUVALE, extingue a Comissão do Vale do São Francisco - CVSF e dá outras providências. **DOFC**, p.2468, 28 fev. 1967.

BRASIL. Decreto-Lei 852, de 11 de Novembro de 1938. Mantém, com modificações, o Dec. 24643, de 10 de Julho de 1934 – Código de águas, e dá outras providências. 11 nov. 1938.

BRASIL. Decreto-Lei 8.486 de 28 de Dezembro de 1945. Dispõe sobre a reorganização da Inspeção Federal de Obras Contra as Secas (I.F.O.C.S.), que passa a denominar-se Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (D.N.O.C.S.). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 02 jan. 1946.

BRASIL. Lei 541 de 15 de Dezembro de 1948. Cria a Comissão do Vale do São Francisco e dá outras providências. **DOFC**, p.17989, 17 dez. 1948.

BRASIL. Lei 4.771 de 15 de Setembro de 1965. Institui o Código Florestal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.9529, 16 set. 1965.

BRASIL. Lei 6.088 de 16 de Julho de 1974. Dispõe sobre a criação da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Codevasf) e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 17 jul. 1974.

BRASIL. Lei 6.662 de 25 de Junho de 1979. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providências. **DOFC**, 26 jun. 1979.

BRASIL. Lei 6.938 de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **DOFC**, p.16509, 2 set. 1981.

BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 jan. 2013.

BRASIL. Lei 13.844 de 18 de Junho de 2019. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios; altera as Leis 13.334, de 13 de setembro de 2016, 9.069, de 29 de junho de 1995, 11.457, de 16 de março de 2007, 9.984, de 17 de julho de 2000, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, 8.001, de 13 de março de 1990, 11.952, de 25 de junho de 2009, 10.559, de 13 de novembro de 2002, 11.440, de 29 de dezembro de 2006, 9.613, de 3 de março de 1998, 11.473, de 10 de maio de 2007, e 13.346, de 10 de outubro de 2016; e revoga dispositivos das Leis 10.233, de 5 de junho de 2001, e 11.284, de 2 de março de 2006, e a Lei 13.502, de 1º de novembro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 18 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria 1.082 de 25 de Abril de 2019. Estabelece a iniciativa Polos de Agricultura Irrigada como parte integrante das ações de implementação da Política Nacional de Irrigação e de incentivo ao desenvolvimento regional no âmbito do Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.25, 30 abr. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria 2.005 de 22 de Julho de 2020. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.13, 23 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria 2.154 de 11 de Agosto de 2020. Estabelece a iniciativa Polos de Agricultura Irrigada como parte integrante das ações de implementação da Política Nacional de Irrigação e de incentivo ao desenvolvimento regional no âmbito do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), e revogar a Portaria MDR n. 1082, de 25 de abril de 2019. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.18. Ed. 154, 12 ago. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional e Urbano. Portaria 4 de 24 de Maio de 2019. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.9. Ed. 100, 27 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional e Urbano. Portaria 5 de 28 de Maio de 2019. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.22. Ed. 104, 31 mai. 2019.

- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional e Urbano. Portaria 2.025 de 23 de Agosto de 2019. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.12. Ed. 168, 30 ago. 2019.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional e Urbano. Portaria 2.475 de 18 de outubro de 2019. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.15, Ed. 204, 21 out. 2019.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional e Urbano. Portaria 3.149 de 15 de Dezembro de 2020. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.88, 17 dez. 2020.
- BRASIL. Senado Federal. Decreto 13.687 de 9 de Julho de 1919. Aprova o regulamento para a Inspeção Federal de obras contra as secas. **Coleção de Leis do Brasil**, Brasília, v.3, p.47, col.1, 31 dez. 1919.
- BRASIL. Senado Federal. Decreto 86.912 de 10 de Fevereiro de 1982. Institui o Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação - PROFIR, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.2533, 11 fev. 1982.
- COELHO NETO, A.S. Trajetórias e direcionamentos da política de irrigação no Brasil: as especificidades da região Nordeste e do Vale do São Francisco. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, **Anais...** São Paulo: USP, 2009.
- FEITOSA, A.C.; MACHADO. F.O.C.; LIBERATO, P.R.M.; JUSWIAK, V. **Desafios para a transferência de gestão dos perímetros públicos de irrigação: proposta para a efetiva emancipação**. 2014. Relatório. Secretaria Nacional de Irrigação, Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2014.
- FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Planejamento de Irrigação**: análise de decisão de investimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Meio Norte, 626p., 2005.
- HEINZE, B.C.L.B. **A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região nordeste do Brasil**. Brasília, 59p., 2002.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A irrigação no Brasil**: situação e diretrizes. Brasília: IICA, 132p., MI, 2008.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. IICA/BRA/08/002, 215p., 2014. Disponível em: https://gppesalq.agr.br/publicacoes/produ%C3%A7%C3%A3o-t%C3%A9cnica/irriga_mi. Acesso em: 3 mai. 2021.
- RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. **Inovagri**, Brasília, 327p., 2017.

CAPÍTULO 3

3 DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL PELAS DÉCADAS

Antonio Alfredo Teixeira Mendes

Resumo

Todos sabemos que o caminho seguro para um futuro promissor pressupõe o conhecimento e a compreensão sobre o passado, em qualquer área do conhecimento humano. Nesse sentido, estando o Brasil a caminho de consolidar-se, dia após dia, como uma potência mundial do agronegócio, não há dúvidas que cada vez mais a agricultura irrigada ganhará protagonismo e sua base industrial e tecnológica, arduamente construída ao longo de décadas, terá importante papel a desempenhar nesse contexto. Esse trabalho tem como objetivo resgatar alguns elementos da história da indústria de equipamentos para irrigação no Brasil, notadamente no que se refere ao surgimento da indústria nacional de equipamentos e componentes diversos para irrigação agrícola, iniciando-se nos anos 1950 e evoluindo até os dias atuais. Nesse contexto, algumas empresas e importantes personalidades foram lembradas por seu pioneirismo e visão transformadora, antecipando o enorme futuro dessa tecnologia essencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada sustentável no país. Ainda que com alcance limitado pela disponibilidade restrita de informações e referências formais, pretende-se compartilhar alguns conteúdos sobre a história dessa indústria no Brasil, a qual, ao consolidar-se ao longo do tempo, constituiu-se em elemento essencial a promover enormes oportunidades e trazer consigo grandes desafios para todos aqueles que militam nessa área de atividade tão complexa, multidisciplinar e, porque não dizer, apaixonante. A visão compartilhada com os pioneiros dessa indústria deve ser o motivador e direcionador de nossas ações futuras em prol do desenvolvimento da agricultura irrigada sustentável que almejamos, respeitando-se sempre as lições do passado, com base nos princípios éticos e nas melhores práticas de negócios, pautadas pela lisura na forma de atuação e no compromisso com a responsabilidade ambiental e social.

3.1 Introdução

A prática da irrigação agrícola tem sido fundamental para garantir a produção de alimentos para as populações desde os primórdios da civilização.

Há registros de que os egípcios se utilizaram das águas do rio Nilo na produção agrícola há cerca de 7.000 anos, da mesma forma que fizeram os povos da Mesopotâmia (atualmente Iraque), em relação aos rios Tigres e Eufrates. Igualmente em relação aos chineses, que se utilizavam do rio Huang Ho (rio Amarelo).

Nas Américas, havia populações indígenas que se utilizavam da irrigação há 2.000 anos, como os índios Hohokams na região onde atualmente é o estado do Arizona, nos Estados Unidos da América.

Nesse contexto, cabe destacar a civilização Inca no Peru, que criou uma infraestrutura de agricultura irrigada muito desenvolvida e sofisticada para a época.

No que se refere ao Brasil, há poucos e raros registros das primeiras práticas da agricultura irrigada, como por exemplo aquela desenvolvida pelos jesuítas em 1589 na Fazenda Santa Cruz, no estado do Rio de Janeiro.

Acredita-se que a primeira iniciativa no que se refere a implantação de um projeto de irrigação no país decorre da construção do reservatório Cadro, no Rio Grande do Sul, em 1881, para garantir o suprimento de água para as lavouras de arroz, com início de operação efetiva no ano de 1903.

No ano de 1904 verifica-se o surgimento de lavouras de arroz irrigadas por inundação, no município de Pelotas, no Rio Grande do Sul.

A seguir, em 1912, no município de Cachoeira do Sul localizado nesse mesmo estado, houve o desenvolvimento de outras áreas de arroz irrigado por inundação, nas quais o acionamento das bombas hidráulicas era realizado por equipamentos movidos a vapor gerado pela queima de lenha, chamados locomóveis, fabricados por uma empresa local denominada Mernak.

De uma forma geral, essa situação permaneceu praticamente inalterada até a década de 1950, com a agricultura irrigada concentrando-se no Rio Grande do Sul, em áreas de produção de arroz que se utilizavam de sistemas de irrigação por superfície, mais especificamente o método da inundação.

Somente a partir desse período iniciou-se uma expansão de áreas irrigadas para outras regiões do país, notadamente para a região sudeste, por meio dos métodos de irrigação por sulcos de infiltração e Subirrigação para horticultura, seguindo-se os pioneiros sistemas de irrigação pressurizados por aspersão, para esses mesmos cultivos e também para a cafeicultura.

Posteriormente, a partir das décadas de 1960 e 1970, iniciou-se de forma mais significativa a expansão dos projetos de irrigação, em sua maioria públicos, em distintas áreas da região nordeste.

3.2 Primórdios da indústria de equipamentos para irrigação no Brasil

No início da década de 1950, sendo o café o principal produto de exportação do Brasil, o governo federal passou a incentivar a utilização de equipamentos de irrigação para esse cultivo com o objetivo de garantir e ampliar sua oferta, na forma de isenção de impostos de importação e oferta de taxas cambiais especialmente favoráveis aos importadores de tais equipamentos.

Mais especificamente no ano de 1952, inicia-se a comercialização de equipamentos para irrigação agrícola no país, através da importação de aspersores metálicos e tubos de aço galvanizado de engate rápido por uma empresa nacional denominada Theodor Wille Trading (DTW), de propriedade de um imigrante alemão chamado Jurgen Liesler Kiep, que mais adiante seria reconhecido como empresário visionário e pioneiro nas atividades de importação, fabricação e distribuição de equipamentos para irrigação pressurizada no país.

Em 1954, como consequência dessas primeiras iniciativas de importação, houve a instalação da primeira fábrica de equipamentos para irrigação no país (empresa denominada Asbrasil, originalmente em São Paulo, tendo sido posteriormente transferida para São Bernardo do Campo/SP, em 1966).

Essa unidade de fabricação pioneira foi originalmente implantada com tecnologia e equipamentos industriais adquiridos junto à empresa Perrot da Alemanha, sendo que a partir daí foram gradualmente desenvolvidas adaptações nos produtos e processos de fabricação, ajustando-os às condições locais.

Um dos destaques dos investimentos realizados nessa unidade de fabricação foram as máquinas especiais para a produção de tubos de aço leves, com acoplamentos rápidos estanques para uso exclusivo na irrigação agrícola.

Visando assegurar a vida útil dessas tubulações em condições de campo, foi instalada unidade completa de zincagem a fogo, para permitir a galvanização desses produtos e seus componentes.

Nessa ocasião, o acionamento dos sistemas de irrigação por aspersão era realizado por conjuntos motobomba à diesel, que continuavam a ser importados.

Seguindo-se o processo de industrialização do país na segunda metade da década de 1950, foram disponibilizados uma série de produtos e acessórios localmente, tais como motobombas hidráulicas, motores elétricos e à diesel, válvulas metálicas diversas, acoplamentos para tubos de alumínio e demais dispositivos utilizados para compor o sistema de irrigação pressurizado por aspersão.

Interessante analisarmos em paralelo, ainda que de forma pontual, alguns elementos relativos ao desenvolvimento da indústria de equipamentos para irrigação, que ocorriam no exterior no período compreendido entre as décadas de 1930 e 1950, de forma meramente ilustrativa.

Podemos citar a invenção do primeiro aspersor de impacto, atribuída por alguns a Orton Englehart, produtor de citrus no sul da Califórnia, que em 1933 teria utilizado tal dispositivo em seus pomares, ainda que Charles Skinner, agricultor de Troy, Ohio, tenha sido o primeiro indivíduo a receber uma patente para o sistema de irrigação por aspersão.



Figura 1. Montagem de aspersores metálicos na fábrica situada no kibutz Naan, Israel, fundada no ano de 1937.



Figura 2. Vista geral da fábrica de aspersores metálicos situada no kibutz Naan, Israel, fundada no ano de 1937.

No ano de 1937, na região do oriente médio onde posteriormente seria criado o estado de Israel, mais especificamente no Kibutz Naan, estabelecia-se uma fábrica de equipamentos para irrigação, principalmente aspersores metálicos e acessórios para utilização em pleno deserto que se convertia em áreas de produção agrícola.

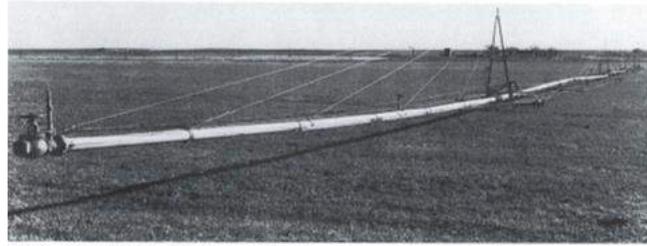
No que se refere ao pivô central, no final da década de 1940, o agricultor/ inventor/ visionário Frank Zybach, introduziu a primeira versão de seu primeiro equipamento na comunidade de Strasburg, Colorado.

Essa invenção teria surgido da observação do trabalho manual penoso representado por um sistema de irrigação por aspersão com tubulações móveis de alumínio em plantações em Prospect Valley, Colorado, no ano de 1947.

Em 1948, um primeiro protótipo de pivô central foi instalado num campo de pastagens ao norte de Strasburg; no ano seguinte, em 1949, Frank Zybach solicitou a patente do equipamento, o que finalmente foi obtido em 22 de julho de 1952, tendo sido definido como "Aparelho de Irrigação por Aspersão Autopropelido Zybach".

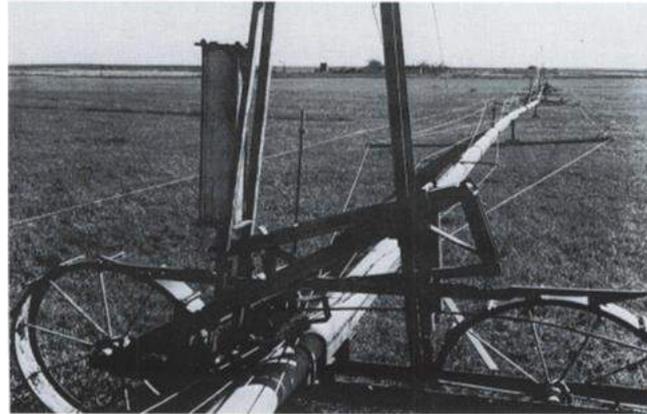
Entre 1952 e 1954, Frank Zybach seguiu desenvolvendo e fabricando seus primeiros pivôs centrais de forma praticamente artesanal, até que em setembro de 1954, seu equipamento foi licenciado para fabricação para o Sr. Robert B. Daugherty, investidor e então proprietário da empresa Valley Manufacturing, em Valley, Nebraska.

Fruto desse empreendimento, já em 1960 cinquenta pivôs centrais eram produzidos anualmente e, a partir de então, seguiu-se o enorme desenvolvimento dessa indústria por todos os países nos diversos continentes.



ORIGINAL CENTER-PIVOT MACHINE, invented by Frank Zybach some 25 years ago, introduced two key innovations that led to the successful development of a completely automatic irrigation system. In Zybach's scheme the pipe supplying water to conventional sprinkler nozzles is supported by a series of Adams towers. The system is propelled by means of water hauled from the supply line (see il-

lustration below). The second key idea in the scheme was the development of a mechanical device to keep the system in alignment by detecting any deflection of the pipe at an intermediate tower and causing the next inner tower to advance. As the outermost tower proceeds in a circular path, each of the inner towers moves automatically in response to pipe deflection caused by movement of next-outer tower.



CLOSE-UP of one of the mobile towers of the original center-pivot machine shows the parts of the system with greater clarity. Water taken under pressure from the supply line powers a piston, which

catches the tower ahead by means of a mechanical device called a 'Trixon bar' that engages lugs on both support wheels. The rate of advance is set by the flow of water into the piston of outermost tower.

Figura 3. Detalhes da estrutura do pivô central original inventado e patenteado por Frank Zybach no ano de 1952, com acionamento por pistões hidráulicos e rodas metálicas.

3.3 A evolução da indústria nacional de equipamentos de irrigação ao longo das décadas

A partir da década de 1960, novas indústrias de equipamentos para irrigação, seus componentes e acessórios surgiram no país, impulsionadas principalmente pela demanda de cultivos como hortaliças e olerícolas, cuja produção primordialmente estava concentrada ao redor dos centros urbanos que se consolidavam naquele momento histórico.

Ao longo do período compreendido entre as décadas de 1960 e 1970, surgiram os primeiros equipamentos de irrigação mecanizada de fabricação nacional, ocasião em que houve início a expansão do uso da energia elétrica no meio rural para fins de irrigação agrícola, provocada pelo aumento dos preços do petróleo verificados à época.

Dentre esses equipamentos para irrigação mecanizados, destacaram-se os equipamentos autopropelidos acionados por pistões hidráulicos e posteriormente por turbinas hidráulicas, com várias configurações e capacidades, normalmente cobrindo áreas entre 15 e 50 hectares por unidade. Foram muito utilizados para culturas como feijão, batata, tomate, pomares de citrus, etc., em várias regiões do país.

Na década de 1970, surgiu a fabricação local de equipamentos para irrigação localizada, tanto o gotejamento como a microaspersão, seus componentes e acessórios, inicialmente com aplicação em horticultura, fruticultura e pomares de citros.

Foi o caso da empresa Dangotas Irrigação Ltda., que ao redor do ano de 1975, foi pioneira na introdução da irrigação por gotejamento no país, através da associação de um empresário local, Sr. Manoel Dantas, com a empresa Drip Irrigation International, por sua vez associada à Agrifim Irrigation Inc., com sede no Arizona, USA, tendo como proprietário e gestor o Sr. Rudney Huskin.

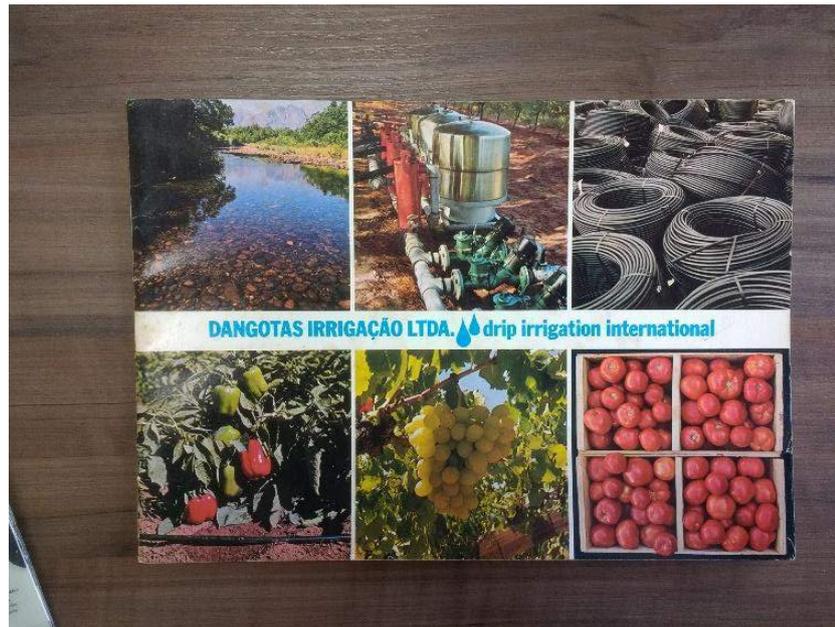


Figura 4. Catálogo técnico promocional da empresa Dangotas Irrigação Ltda, produzido na metade da década de 1970.



Figura 5. Cabeçal de controle (medição de água, filtragem e fertirrigação) de sistema de irrigação por gotejamento para 122 hectares de cultivo de ameixa, município de Buri (SP), ano de 1978.

Importante destacar que no ano de 1973, durante seminário de irrigação por gotejamento realizado na Universidade de Harvard, Boston, Massachusetts, Estados Unidos da América, foi destacado o fato de que era uma grande satisfação observar as reações das pessoas que usufruiriam dos benefícios da irrigação por gotejamento na ocasião, e que este aspecto fascinante estimulava a imaginação, antevendo-se possibilidades antes inconcebíveis para a aplicação desse sistema na agricultura.

No ano seguinte, 1974, durante o Segundo Congresso Internacional de Irrigação por Gotejamento, realizado em San Diego, Califórnia, Estados Unidos da América, afirmou-se que,

com desenvolvimento apropriado, a irrigação por gotejamento poderia ser o tipo mais eficiente, efetivo e ecologicamente perfeito dos sistemas de irrigação conhecidos até então.

Dessa forma, cabe observar que - ainda que de forma muito incipiente e frágil - desde os primeiros passos da tecnologia da irrigação por gotejamento no cenário internacional, de alguma forma o tema passou a ser objeto de atenção no Brasil.

Seguem abaixo alguns registros sobre empresas e tipos de equipamentos que chegaram ao mercado nacional ao longo da década de 1970 e subseqüentes (1980, 1990, 2000), visando apenas fornecer uma visão geral e bastante aproximada da evolução observada no período, sem que tais elementos tenham sido tratados com rigor metodológico ou obtidos em quaisquer bases de dados formais: (i) Anos 70 - Dangotas - Irrigação por gotejamento - Sr. Manoel Dantas, posteriormente Dantas Irrigação, anos 80/ 90 - tubos de aço zincado com engate rápido, aspersores, autopropelidos, canhões hidráulicos, montagem direta, tubos de alumínio, irrigação localizada, gotejadores, microaspersores, componentes e acessórios, pivô central, (ii) Anos 70, 80, 90 - Asbrasil S/A - Sr. Joaquim Klaussner - Tubos de alumínio com engate rápido, aspersores e canhões hidráulicos, equipamentos autopropelidos, montagem direta, tubos de aço zincado com engate fixo, bomba trator, ramal rolante, carretel enrolador (aquisição empresa Ferrostaal), pivô central (Valmatic, 1978, joint venture com a Valmont Irrigation), equipamento linear de avance frontal, pivô rebocável, equipamentos para irrigação localizada, tubos cegos de polietileno, gotejadores, microaspersores, componentes e acessórios, (iii) Agropolo - Aspersores - 1971, (iv) Ederer, posteriormente MTU - Canhões/ motobombas/ pivôs - anos 70-80 - Sr. José Ederer, (v) Krebsfer (atual Krebs) - início 1966, irrigação 1978 - Sr. Osvaldo Krebs, (vi) Fabrimar - Aspersores - início 1960, irrigação 1984 - Sr. Fausto Martins, (vii) Plona - Aspersores - início 1980, irrigação 1984 - Sr. Arno Bernert, (viii) Aspersolo - Canhões e autopropelidos - 1983 - Marcelo Ferrero, (ix) Fockink - Pivô Central - 1947, irrigação anos 80 - Sr. Peter Fockink, (x) Irrigabrás - Tubos alumínio/ inox, carretel, pivôs - 1985 - Renato Barroso/ Iraci Coletti, (xi) Carborundum - Canhões Rainbow (anos 70), pivô central (Lindsay, 1981 - 1997), localizada (anos 90), (xii) Metal Lavras - Carretel enrolador - 1992 - Werner Ederer; anos 2000 Setorial, (xiii) Tigre - Tubogotejadores cilíndricos integrados para irrigação localizada Irriga Drip - 1990, (xiv) Irrigabrazil - Carretel Enrolador - 1993 - Hélio/ Ângelo/ Miguel, (xv) Asperjato - Aspersores - 1997, (xvi) Amanco - Irrigação Localizada (Carborundum) - 2003, (xvii) Valmont (aquisição Asbrasil, 1997), (xviii) Lindsay (2001), (xix) Bauer (2004), (xx) Romera Simon, (xxi) Jimenez Irrigação, (xxii) Irrigação Penápolis, (xxiii) Netafim (2000), (xxiv) Plastro/ Rivulis (2002), (xxv) NaanDan/ NaanDanJain (2003), (xxvi) Petroisa (2005), (xxvii) Plasnova, (xxviii) Drip-Plan, (xxix) Azud, e (xxx) Outras.

Cabe registrar o grande dinamismo e instabilidade do mercado de equipamentos para irrigação no Brasil observado ao longo das décadas passadas, em função de inúmeras variáveis (principalmente situação macroeconômica do país, disponibilidade de crédito para investimento na agricultura, inexistência de política de desenvolvimento setorial estável e consistente, dentre tantas outras que não cabe aqui discutir).

Com base em dados meramente informais, foi possível relacionar mais de 40 marcas de pivô central que em algum momento participaram do mercado nacional ao longo de mais de quatro décadas: Asbrasil-Valmatic/ Valmont, Carborundum/ Lindsay, Dantas, Ederer/ MTU, Enermaq, Delp, Encol, Irmãos Ayres, Kavan, Esco, SBE, Brasilit Rural/ CBR, Círculo Verde, USmatic, Asperbrás, Agrogeral, TSI/ Nebraska, Hidrocampo, Romera, Krebsfer/ Krebs, Jimenez, Hidropower, Fockink, Irrigabrás, Irrigação Penápolis, Bauer, Linbrás, Carborundum (Holambra), Irricampo, Irriganor, Irrigaplus, Cielt, Alvenius, Eletro Mastir, Hidrosprinkler, Nevada, Geraluz.



Figura 6. Primeiro pivô central importado, marca Valley, origem USA, instalado no Brasil, na Fazenda Chapadinha, município de Brasilândia/ MG, 1976 (foto disponibilizada por Fernando Antonio Rodriguez, 2020).



Figura 7. Torres móveis do primeiro pivô central importado, marca Valley, origem USA, instalado no Brasil, na Fazenda Chapadinha, município de Brasilândia (MG), 1976 (foto disponibilizada por Fernando Antonio Rodriguez, 2020).

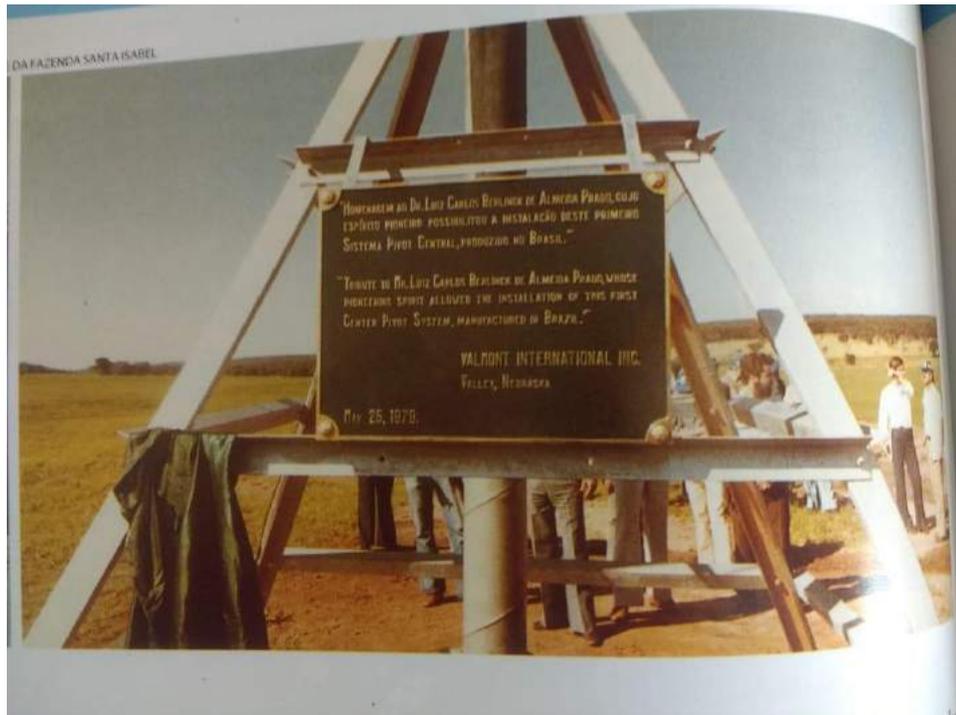


Figura 8. Placa comemorativa da instalação do primeiro pivô central fabricado no Brasil, na Fazenda Santa Isabel, município de Brotas/SP, propriedade da família Almeida Prado, em 25 de maio de 1979; pivô marca Valmatic, resultado da associação da Asbrasil com a Valmont (Valley, Nebraska, USA).



Figura 9. Autoridades presentes à solenidade de inauguração do primeiro pivô central fabricado no Brasil, na Fazenda Santa Isabel, município de Brotas/SP, dentre os quais o sócio fundador da Asbrasil S/A, sr. Juergen Liesler Kiep, e o Ministro da Agricultura (Alysson Paolinelli).

3.4 A situação atual da indústria de equipamentos para irrigação no Brasil – Alguns aspectos setoriais

Analisando-se o conjunto de informações relativas ao histórico de desenvolvimento da indústria de equipamentos para irrigação no país, pode-se concluir que o setor tem passado por uma longa curva de aprendizagem em sua evolução histórica, sendo hoje caracterizada pela expressiva presença das principais empresas multinacionais líderes do setor, com unidades de fabricação e distribuição no país, ao lado de tradicionais empresas nacionais, fornecedores de insumos, componentes, partes e peças, sistemas completos de todos os segmentos, o que permite rápida capacidade de reação à estímulos ao investimento advindos do eventual aumento da demanda do mercado.

Da mesma forma, as empresas aqui estabelecidas apresentam crescentes atividades de exportação para o Mercosul, América Latina, África e outros países, em vários casos integrando ativamente a cadeia de abastecimento entre subsidiárias e empresa matriz.

A quase totalidade das empresas fabricantes de equipamentos para irrigação sediadas no país, presentemente organiza-se através da Câmara Setorial de Equipamentos para Irrigação (CSEI), da Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (Abimaq), incluindo fabricantes e empresas da cadeia de produção dos diversos sistemas de irrigação pressurizados existentes no mercado, seus conjuntos completos, componentes, acessórios, partes e peças.



Figura 10. Diversidade de equipamentos e sistemas para irrigação pressurizada disponíveis no país, dentre os quais a aspersão, carretel enrolador, pivô central e irrigação localizada por gotejamento.

O mercado estimado para os equipamentos de irrigação pressurizados no país em 2019 foi da ordem de R\$ 1,8 bilhões, compreendendo os fabricantes de sistemas de irrigação por aspersão convencional, carretel enrolador, pivô central, irrigação localizada por microaspersão e gotejamento, além dos fornecedores de motobombas, tubulações de PVC e metálicas, conexões, acessórios tais como filtros, válvulas hidráulicas, painéis e componentes elétricos e equipamentos para automação.

A CSEI/Abimaq é composta por 48 empresas associadas, que representam aproximadamente 90 % do mercado de equipamentos para irrigação pressurizada, gerando cerca de 6.000 empregos diretos e 12.000 indiretos, considerando-se suas unidades fabris, rede de distribuição, projetistas e instaladores de projetos.

Segundo levantamento da CSEI, ao final do ano de 2020, a estimativa da área irrigada no país foi de 6,48 milhões de hectares, devendo considerar-se que esse valor não capta

variações relacionadas às atividades de empresas não associadas (da ordem de 10 % do total), bem como variações nas áreas irrigadas por sistemas de irrigação por superfície (inundação e sulcos de infiltração).

Tabela 1. Evolução anual das áreas irrigadas por tipo de sistema de irrigação pressurizada entre 2000 e 2006, segundo levantamento da CSEI/Abimaq.

Área total irrigada por ano (ha)							
Tipo	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Pivô Central	47.320	50.540	57.820	59.500	47.600	26.600	17.500
Carretel	25.000	29.000	30.000	30.000	22.500	21.000	30.000
Convencional	16.200	15.300	14.650	17.500	15.000	15.000	15.000
Localizada	30.000	33.000	37.000	40.000	38.000	35.000	30.000
Total (ha ano ⁻¹)	118.520	127.840	139.470	147.000	123.100	97.600	92.500
Área totalizada	3.068.480	3.196.320	3.335.790	3.482.790	3.605.890	3.703.490	3.795.990

¹ Histórico até 1999: 2.949.960 ha.

Tabela 2. Evolução anual das áreas irrigadas por tipo de sistema de irrigação pressurizada entre 2007 e 2013, segundo levantamento da CSEI/Abimaq.

Área total irrigada por ano (ha)							
Tipo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Pivô Central	19.600	49.000	49.500	52.000	57.750	84.000	126.000
Carretel	30.000	30.000	25.000	30.000	32.500	32.500	32.500
Convencional	16.500	20.000	17.000	25.000	29.500	35.400	40.710
Localizada	40.000	47.000	40.000	50.000	56.000	60.480	72.576
Total (ha ano ⁻¹)	106.100	146.000	131.500	157.000	175.750	212.380	271.786
Área totalizada	3.902.090	4.048.090	4.179.590	4.336.590	4.512.340	4.724.720	4.996.506

Tabela 3. Evolução anual das áreas irrigadas por tipo de sistema de irrigação pressurizada entre 2014 e 2020, segundo levantamento da CSEI/Abimaq.

Área total irrigada por ano (ha)							
Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pivô Central	102.000	78.000	91.000	94.000	92.000	97.500	117.000
Carretel	10.500	6.000	18.000	14.000	13.750	12.500	16.250
Convencional	28.497	28.000	31.000	31.000	31.000	31.000	37.200
Localizada	79.834	75.000	75.000	64.000	64.000	68.500	78.775
Total (ha ano ⁻¹)	220.831	187.000	215.000	203.000	200.750	209.500	249.225
Área totalizada	5.217.337	5.404.337	5.619.337	5.822.337	6.023.087	6.232.587	6.481.812



Figura 11. Taxa de crescimento anual das áreas irrigadas por tipo de sistema de irrigação pressurizada entre 2000 e 2020, segundo levantamento da CSEI/Abimaq.

Analisando-se o potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada no país, a partir dos elementos disponíveis em diversas publicações a esse respeito, pode-se afirmar que o Brasil ainda está por explorar seu verdadeiro potencial em termos de áreas a serem irrigadas no futuro.

As taxas de crescimento verificadas, através dos levantamentos da CSEI/Abimaq, baseados nas vendas de equipamentos para irrigação pressurizada, da ordem de 3,5 % ao ano, são bastante tímidas face ao potencial existente, sendo que no ritmo atual esse potencial somente seria atingido em inúmeras décadas.

Do ponto de vista da indústria nacional, existe tecnologia compatível com aquelas de maior nível tecnológico e qualidade disponíveis no mercado internacional, seja Estados Unidos, Israel, Europa ou Ásia.

O Brasil dispõe de toda a gama de fabricantes e distribuidores de equipamentos, componentes e acessórios para o desenvolvimento de projetos de irrigação de última geração, inclusive todos os recursos de digitalização para otimização dos processos de manejo e gestão do uso de água e demais recursos.

Da mesma forma, a capacidade industrial instalada atualmente no país, associada ao rápido poder de reação da maioria das empresas aqui sediadas, no caso de necessidade de ampliação de suas unidades fabris, nos permitem afirmar que estamos preparados para suportar sem dificuldades o desenvolvimento da agricultura irrigada no país em maior escala, no caso de superarmos os entraves atuais de várias ordens, e avançarmos de forma mais acelerada em anos futuros.

3.5 Novos paradigmas e desafios da indústria de equipamentos para irrigação com vistas ao desenvolvimento sustentável

Se é fato que ao longo das últimas décadas, conforme demonstrado anteriormente, a indústria de equipamentos para irrigação desenvolveu-se e adquiriu maturidade para atender um mercado bastante instável e complexo em sua diversidade, cabe destacar os novos paradigmas que se apresentam, principalmente relacionados à acelerada adoção de tecnologias digitais no campo, no contexto das transformações de mercado que demandam ampliação da proposta de valor por parte dessa indústria, para além do simples suprimento de produtos de qualidade.

Dessa forma, a parte da fabricação de equipamentos como atividade essencial, as empresas do setor buscam cada vez mais de aprimorar seu atendimento em todos os aspectos do negócio, incluindo questões tecnológicas, logísticas, comerciais, de capacitação, assistência técnica, inteligência e comunicação com o mercado, inovação e prestação de serviços.

De forma um pouco mais detalhada, abaixo estão relacionadas algumas dessas áreas de conhecimento cujos processos precisam ser cada vez melhor atendidos e ampliados: (i) tecnologia/ processos produção/ desenvolvimento produtos/ engenharia aplicação/ inovação/ rede distribuição/ atendimento ao cliente, (ii) logística/ gestão da qualidade/ normalização e certificação/ gestão fiscal, contábil, financeira, operações, (iii) garantia / assistência técnica/ recursos humanos/ capacitação/ prestação de serviços/ soluções locais e customizadas/ suporte agro técnico, (iv) projetos "chave em mãos" / Manejo da irrigação/ automação/ fertirrigação/ mecanismos de financiamento/ soluções financeiras criativas, (v) estímulo à colaboração com universidades/ institutos de pesquisa/ empresas privadas – trabalho em rede/ órgãos oficiais na busca de soluções inovadoras para a agricultura irrigada, e (vi) soluções via plataformas digitais/ integração/ cooperação/ incorporação *startups* e *agtechs*.

Os indicadores disponíveis nos levam a crer que o processo de digitalização do agronegócio brasileiro, atualmente em curso, e que obviamente inclui o setor de equipamentos para irrigação, seguirá crescendo de forma consistente ainda que com as limitações de conectividade e infraestrutura atualmente observadas no campo.



Figura 12. Central de controle e monitoramento da irrigação e fertirrigação totalmente automatizada e digitalizada, instalado em sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cultura de cana-de-açúcar para alta produtividade e redução de custos de produção, em operação em empresa do setor sucroenergético no noroeste do estado de São Paulo.

Paralelamente a essas questões inerentes aos aspectos do próprio negócio, a indústria de equipamentos para irrigação, na forma de sua melhor organização e representação setorial, deverá cumprir seu papel de articulação institucional junto aos organismos oficiais, órgãos públicos, entidades privadas em suas mais variadas formas, visando enfrentar os gargalos existentes para a ampliação das áreas irrigadas, dentre os quais uma série de aspectos legais e normativos relacionados ao licenciamento ambiental, processos de outorga e reserva de água para uso na propriedade rural, disponibilidade e qualidade da energia elétrica rural, disponibilidade e acesso à linhas de crédito para financiamento dos investimentos em infraestrutura e equipamentos para irrigação, aspectos culturais relacionados à visão do agricultor pela sociedade, especialmente quando se trata de agricultor irrigante, formação e atualização de mão-de-obra qualificada, suporte de assistência técnica e extensão para a agricultura irrigada, entre tantos outros.

No que se refere à oferta da indústria de equipamentos para irrigação e seu alinhamento com as questões ambientais e de sustentabilidade, aspectos estes atualmente indispensáveis à própria manutenção da atividade no longo prazo, deve-se uma vez mais reafirmar a contínua evolução observada nos produtos e aplicações oferecidas, sempre na direção dos ganhos contínuos de eficiência no uso de água, energia e demais insumos ao longo do tempo.

Exemplos práticos dessa nova realidade são os equipamentos, sistemas, plataformas e soluções na nuvem para manejo e gestão da irrigação, fertirrigação e quimigação disponíveis no mercado, com base nas tecnologias digitais (hardware e software) para sensoriamento, monitoramento, imageamento, controle e supervisão da aplicação de água e fertilizantes de forma racional e eficiente pelo agricultor.

3.6 Considerações finais

O presente texto tem como principal objetivo apresentar, de forma bastante sintética e simplificada, o histórico do desenvolvimento da indústria de equipamentos para irrigação no Brasil, notadamente ao longo das últimas sete décadas.

Cabe uma vez mais destacar o fato de que praticamente inexistente pesquisa ou literatura científica publicada relacionada ao tema no país, de forma que fica registrado seu caráter meramente informativo e desprovido de rigor científico e metodológico.

À parte de trazer tais elementos históricos para o conhecimento e a reflexão de todos, fica patente o sucesso da trajetória de industrialização desse segmento da nossa economia, que tem participado continuamente no suporte ao desenvolvimento da agricultura irrigada no país ao longo dos anos.

À despeito das dificuldades e limitações de toda ordem, seus erros e acertos ao longo dessa trajetória (que seguramente foram muitos...), essa diversificada indústria consolidou-se e encontra-se viva, vibrante e disponível para assumir suas responsabilidades no desenvolvimento do agronegócio do Brasil.

No momento atual de protagonismo crescente do país no cenário internacional, entende-se que o papel da indústria de equipamentos para irrigação é apresentar-se e tomar para si a responsabilidade de contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura irrigada cada vez mais produtiva e sustentável, com base no uso eficiente dos recursos naturais e insumos para a produção agrícola, através de práticas e tecnologias que garantam redução no custo de produção e elevadas produtividades, com benefícios econômicos, ambientais e sociais para o setor e para a sociedade como um todo.

Referências

BARTH, C.A. Fotografias de acervo próprio. 2020.

DANGOTAS IRRIGAÇÃO LTDA. Catálogo técnico. 2021. Disponível em: <https://consultas.plus/lista-de-empresas/sao-paulo/barueri/47342209000105-dangotas-irrigacao-ltda/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

FERNANDES, C.; RODRIGUEZ, F.A.; CASTILLA, H.R.; VALÉRIO, M.A. A Irrigação no Brasil: Situação e Diretrizes. In: RODRIGUEZ, F.A. (Coord.). Brasília, **Ministério da Integração Nacional**, 2008.

MADER, S. Center pivot irrigation revolutionizes agriculture. **The Fence Post**, 2010. Disponível em: <https://www.thefencepost.com/news/center-pivot-irrigation-revolutionizes-agriculture/>. Acesso em: 2 dez. 2020.

MARCHI, C.E. **Compilação de dados das empresas associadas da câmara setorial de irrigação**. CSEI/ ABIMAQ, 2019.

MENDES, A.A.T. O desenvolvimento da agricultura irrigada sob a ótica da indústria. In: RODRIGUES, L.N.; ZACCARIA, D. **Agricultura Irrigada Um breve olhar**. Fortaleza: Inovagri, p.319-323, 2020. E-book. Capítulo XLI. Disponível em: <https://inovagri.org.br/publicacoes-e-projetos/>. Acesso em: 2 dez. 2020.

MENDES, A.A.T. O novo papel da indústria de equipamentos na agricultura irrigada sustentável. In: RODRIGUES, L.N.; ZACCARIA, D. **Agricultura Irrigada Um breve olhar**. Fortaleza: Inovagri, p.59-63, 2020. E-book. Capítulo V. Disponível em: <https://inovagri.org.br/publicacoes-e-projetos/>. Acesso em: 2 dez. 2020.

NAANDANJAIN IRRIGATION SYSTEMS LTD. Fotografias de acervo próprio. 2020.

RODRIGUES, F.A. Fotografias de acervo próprio. 2020.

RODRIGUEZ, F.A. **Contribuição à História da Irrigação no Brasil** (versão preliminar, em elaboração), Brasília, 2020.

SPLINTER, W.E. Center-Pivot Irrigation. **Scientific American**, v.234, n.6, p.90-99, junho 1976. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/center-pivot-irrigation/>. Acesso em: 2 dez. 2020.

VALMONT. História da irrigação e dos 48 anos da Valmont no Brasil. **Revista IRRIGAÇÃO E TECNOLOGIA MODERNA** - Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, v.54, p.37-39, 2002.

CAPÍTULO 4

4 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA DE EQUIPAMENTOS DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL E LINEAR NO BRASIL, COM ÊNFASE NOS EMISSORES E REGULADORES DE PRESSÃO

Claudio Tomazela

Resumo

O uso de emissores e de reguladores de pressão nos sistemas de irrigação pivô central e linear, no Brasil, teve sua introdução com a indústria de equipamentos no ano de 1979, quando a Asbrasil Aspersão do Brasil SA, fez uso dos emissores do tipo impacto e de válvulas reguladoras de fabricação própria. Em 1981, foi a vez da Carborundum Sistemas de Irrigação trazer seus equipamentos fazendo uso dos emissores do tipo Spray e reguladores de pressão, ambos de fabricação própria, por não serem permitidas importações de produtos para irrigação à época. A partir destas duas empresas, motivados por programas governamentais voltados a divulgação do uso da irrigação, outras empresas como Dantas, MTU, etc. seguiram o mesmo caminho, fazendo uso de emissores de impacto. Por volta de 1984, em acordo com a Carborundum, entrou nesse mercado a empresa Fabrimar Irrigação, que mais tarde passou a ser fornecedora de seus produtos a praticamente todas as empresas fabricantes de equipamentos. Em 1986, houve uma alteração no cenário, motivados pela possibilidade de importação desses produtos, em que a Asbrasil e Fockink passaram a trabalhar com os emissores tipo Spray da Senninger Irrigation e a Carborundum com os emissores tipo Spray, da Nelson Irrigation, ambas empresas americanas, resultando assim em um avanço na qualidade e eficiência dos produtos, abrindo um longo caminho de evolução de tecnologias, cada vez mais eficientes, resultando em economia de água e de energia. A partir de 2003, com o estabelecimento da Senninger Brasil, introduzindo no mercado os emissores oscilantes do tipo wobbler, além dos sprays e demais produtos, houve uma divisão no mercado entre Fabrimar e Senninger e a grande maioria dos fabricantes como Valley (antiga Asbrasil), Lindsay (antiga Carborundum), Fockink, Krebs, Bauer, Irrigabrás, etc., passaram a fazer uso dos produtos Senninger, como padrão em seus equipamentos. Por outro lado, a Nelson Irrigation em 2015, decidiu também se estabelecer no mercado brasileiro, como Nelson Brasil, ampliando assim o leque de opções de novas tecnologias, trazendo definitivamente a tecnologia dos emissores do tipo rotativo (rotator), bem como os sprays e oscilantes como o orbitor, além de outros produtos de sua fabricação, a atender aos fabricantes, revendas e cliente final. A partir de 2018, o mercado de irrigação no Brasil, passou a ter como mais uma opção em termos de emissores do tipo oscilante e de reguladores de pressão, a empresa Komet Innovative, trazendo seus produtos diretamente da Europa, e disponibilizando às empresas de equipamentos de irrigação brasileira os produtos de sua linha de fabricação.

4.1 Introdução

A irrigação por aspersão no Brasil, com o uso dos sistemas mecanizados de movimento contínuo radial (Pivô Central) e movimento contínuo linear (lateral móvel), teve praticamente seu início no ano de 1979 quando a empresa Asbrasil Aspersão do Brasil S/A, com sede em São Bernardo do Campo (SP), em parceria com a Valmatic, ligada a Valmont do estado de Nebraska-USA, implantou seu primeiro sistema pivô central na fazenda do grupo Almeida Prado no município de Brotas, estado de São Paulo.

Este pivô central de irrigação teve, como dispositivos para a distribuição de água e controle de pressões, os emissores do tipo impacto nos modelos ZE30 e ZE30D das Asbrasil (Figuras 1 e 2). Os reguladores de pressão eram de 28 mca (40 psi), fabricados pela própria Asbrasil. Vale lembrar que uma das funções esperada pelo cliente àquela época era além da irrigação, fazer uso da aplicação de dejetos da indústria leiteira (chorume).



Figura 1. Emissores modelos ZE30 e ZE30 D.



Figura 2. Pivô central Valmatic, com emissores de impacto ZE e ZED 30.

A ASBRASIL seguiu por um período utilizando os emissores ZED30 e ZED30 e, em 1980, devido a proibição de importação de produtos, passou a injetar os emissores do tipo *spray* em parceria com Sr. Ângelo Grassi, baseado nos padrões Valley e formato em V (Figura 3) e com reguladores de pressão plásticos (Figura 4) em pressões relativamente baixas.



Figura 3. Sprays em formato V, da Valley.



Figura 4. Reguladores pressão Valmatic de 14, 21 e 4,2 mca (20, 30 e 6 psi).

Nos anos de 1980 e 1982, foi lançado o que podemos classificar de primeiro pacote governamental voltado a estimular o uso de irrigação nas lavouras, motivados por uma crise no setor de abastecimento de produtos básicos que desapareceram das prateleiras, como no caso do feijão, tendo sido criado o programa Pró-Feijão (semeadura de feijão irrigado), no Governo do estado de São Paulo por intermédio da Secretaria da Agricultura e Abastecimento.

Na época, o carro forte das empresas de equipamentos de irrigação eram os sistemas com emissores do tipo canhão, instalados em estruturas denominadas autopropelido, tracionados basicamente pela movimentação de turbinas hidráulicas que em movimento arrastavam através de cabos de aço, as bases ou carrinhos onde eram instalados os emissores.

Foram envolvidos vários órgãos do governo do estado de São Paulo, para possibilitar o desenvolvimento desse pacote, incluindo-se as Casas de Agricultura do estado (CATI), via Secretaria de Agricultura, a Companhia de Energia de São Paulo (CESP), o Departamento de Águas e Esgoto (DAEE), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) o Banco do Estado de São Paulo (Banespa) e as empresas fabricantes de equipamentos, quando foram feitos vários treinamentos técnicos visando avaliar e aprimorar os conhecimentos do processo de irrigação.

Logo em seguida, foram lançados outros programas mais abrangentes para maiores áreas irrigadas e contemplados os sistemas mecanizados como pivô central e posteriormente os lineares. Tais programas foram o Prodecer (programa de desenvolvimento da agricultura do Cerrado), Profir (programa de financiamento da agricultura irrigada) sendo este com alguma dificuldade inicial devido a problemas de disponibilidades de energia elétrica (falta ou de qualidade abaixo da necessária a energizar os motores de irrigação), Proni (Programa nacional de irrigação), Proine (Programa de desenvolvimento da irrigação no Nordeste). Com estes novos programas em andamento, várias empresas fabricantes se dispuseram a entrar neste mercado, algumas com sucesso até hoje e outras nem tanto, saindo deste mercado logo em seguida. Nos anos de 1985 a 1988, com um "boom" da irrigação, pudemos ter uma gama muito grande de potenciais empresas fabricantes de equipamentos, algumas já trabalhando nessa área e outras apenas se aventurando a um mercado não tão familiar. Temos alguns exemplos que podem ser citados como Irrigabrás, Dantas, MTU/Ederer, Esco, Delpi (Círculo Verde), Brasilit Rural, Cielit, Linbrás, Hidropower, Zanello, Enermaq, Irriganor, Companhia Brasil Rural (CBR), Nebraska, Asperbrás, Romera Simon, Irrisol, Nevada, Irriga Mastir, Geraluz, Pivomec, Irriga Plus, Bauer Metasa, Bauer, Carborundum, entre outras.

A grande maioria dessas empresas fazia uso dos emissores e reguladores de pressão da Fabrimar, em suas mais recentes versões de produtos e umas poucas, trabalhavam com produtos da Nelson Irrigation Inc., da cidade de Walla, estado de Washington-USA e da Senninger Irrigation Inc., originalmente da cidade de Orlando, estado da Flórida-USA e depois mudando-se em 2006 para a cidade de Clérmont, no mesmo estado, ambos tradicionais fabricantes de dispositivos de controle de pressão e distribuição de água em sistemas

mecanizados, com emissores nos modelos *spray*, rotativo ou o oscilante e reguladores de pressão dos mais variados tipos e modelos e desempenhos operacionais.

Como dito anteriormente, muitas dessas empresas saíram do mercado e algumas outras mudaram de nome tendo sido adquiridas em parte ou no todo por empresas estrangeiras como são os casos da Valley/Valmont, Carborundum/ Linbras/ Hidropwer /Lindsay. Os dispositivos de aplicação e distribuição de água e regularização da pressão como emissores e reguladores de pressão são basicamente das marcas, Fabrimar (a maioria delas), Senninger e Nelson. Atualmente a situação é completamente diferente. A Fabrimar foi vendida para a Tigre e por ora deixou de fabricar produtos para irrigação em sistemas pivô central e linear. Continuam no mercado empresas como Senninger e Nelson, já com estruturas de distribuição no Brasil e Komet, uma empresa mais recente a atender a esse mercado e por ora fazendo importações diretamente da Áustria.

A Asbrasil, entre os anos de 1986 e 1988, passou a trabalhar com os produtos da Senninger em seus sistemas mecanizados de aspersão e, mesmo depois de adquirida totalmente pela empresa Valmont em 2018, continua tendo em seu portfólio toda a gama de produtos da linha Senninger, além de também trabalhar com produtos de mesma finalidade, da Nelson. Mais recentemente, também com produtos da Komet.

Os primeiros sistemas de irrigação pivô central da Carborundum, foram com emissores do tipo impacto, Sagra AJ-25 A2, em alumínio e fabricado pela Samoto (Santo Amaro Motores Agrícolas Ltda), sendo o primeiro deles na Fazenda Itamarati de propriedade do Sr. Olacyr de Moraes (Figura 5).



Figura 5. Pivô central, Fazenda Itamarati.

Como não era permitida a importação de produtos para irrigação, a Carborundum foi em busca de um molde para os reguladores de pressão, que por ser muito caro, levou a empresa a buscar uma ferramentaria na cidade de Vinhedo, fabricando seus próprios reguladores de pressão em modelos "similares" ao desenho de um dos modelos da Nelson.

Cada regulador era testado na fábrica quanto as pressões de entrada e saída dos mesmos, para diferentes composições de bocais.

Para os dois seguintes pivôs fabricados pela Carborundum, instalados na cidade de Bragança Paulista em uma propriedade agrícola que cultivava batata (Fazenda Baroneza), foram utilizados os mesmos modelos de emissor tipo impacto da Samoto (Figura 6) e desta vez com outro modelo de regulador de pressão, em plástico, fabricado por outra terceirizada.



Figura 6. Emissor Samoto

Um passo seguinte foi o desenvolvimento de um modelo de aspersor tipo *spray* fixo (Figura 7), também em plástico com desenho "similar" ao super *spray* da Senninger, que foi desenvolvido pela Carborundum e instalados nos sistemas pivô central fabricados e comercializados, dessa data em diante.



Figura 7. Spray fixo Carborundum

Devido a uma série de dificuldades encontradas na fabricação de seus próprios emissores e reguladores de pressão, logo no ano de 1986, a Carborundum fechou um acordo com a empresa Fabrimar Produtos para Irrigação, localizada na Pavuna, estado do Rio de Janeiro e seguiu por vários anos trabalhando nos mais diferentes moldes, tanto dos reguladores de pressão quanto dos emissores tipo *spray* com diferentes placas defletoras, buscando melhorar a performance dos mesmos.

Durante esse período de desenvolvimento de produtos, vários problemas ocorreram, principalmente com os reguladores de pressão, como quebras em função das elevadas pressões de operação aplicada aos equipamentos pivô central. Os pivôs eram, na verdade, dimensionados com tubulação aérea de diâmetro interno de 162 mm (65/8") com elevadas perdas de pressão, nos comprimentos necessários aos tamanhos de equipamentos utilizados no Brasil.

No ano de 1988, após todas as frustrações citadas, a Carborundum passou a uma segunda fase com a colocação em seus sistemas pivô central e linear, dos produtos da linha Nelson. Daí em diante, vieram os mais variados tipos de produtos para atender a demanda solicitada pela Carborundum. Esse processo todo de importação era feito pela própria Carborundum até quando a mesma, no ano de 1997, deixou de fabricar os sistemas mecanizados de aspersão.

A saída da Carborundum do mercado, resultou em uma nova empresa, a Linbrás, com sede no município de Valinhos-SP, que continuou importando produtos da Nelson por um período de aproximadamente dois anos, até os custos tornarem inviáveis as importações e a manutenção da estrutura da empresa no Brasil. A Linbrás vendeu a parte referente à produção de sistemas mecanizados à Jimenez de Piedade, que passou a se chamar Hidropower. Como a Jimenez já detinha o comodato de uso das máquinas da Carborundum há pelo menos um ano, a Lindsay Irrigation, decidiu comprá-las e transferiu as mesmas e todas suas atividades, no ano de 2002, ao município de Mogi Mirim-SP, já tendo sua própria estrutura denominada de Lindsay América do Sul (Figura 8) onde se encontra até os dias atuais.



Figura 8. Catálogo pivô Lindsay.

As importações dos produtos Nelson via Lindsay América do Sul eram feitas diretamente da Lindsay Americana, mesmo havendo uma revenda em Valinhos (Stock Irrigação) que trabalhava com produtos Nelson (Agricultura) e Hunter (Paisagismo e Campos de Golfe) atendendo diretamente as revendas de irrigação.

Este procedimento caminhou até por volta do ano de 2008 e 2009, quando a Lindsay passou a adquirir também produtos diretamente da Senninger Brasil, estabelecida na cidade de Holambra-SP devido a comodidade, proximidade e de um trabalho desenvolvido pela própria Senninger BRASIL junto aos fabricantes de equipamentos pivô central e linear, fazendo com que o mercado de emissores e reguladores de pressão para os sistemas de irrigação pivô central e linear, mudasse de comportamento até que todas as empresas fabricantes passassem a trabalhar com todas as marcas de produtos, de acordo com as solicitações dos clientes e revendas e consultores.

Em 1983, a empresa MTU Motores Diesel - Ederer Equipamentos para Irrigação – (Figura 9), localizada na Via Anhanguera, km 29, município de São Paulo, iniciou a fabricação de sistemas pivô central no Brasil, com tecnologia da empresa americana Reinke Manufacturing Company, do estado de Nebraska-USA, fazendo uso dos emissores A251 e A252, em latão e reguladores de pressão, ambos da Fabrimar produtos para irrigação.

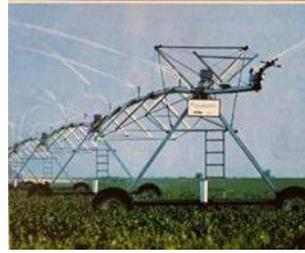


Figura 9. Pivô Ederer.

No ano de 1984, a empresa Dantas Indústria e Comércio, localizada no município de Barueri-SP (Figura 10), através de seu proprietário Manoel Dantas, adquiriu duas unidades de sistemas pivô central da Carborundum e começou a fabricar seu próprio equipamento, fazendo uso de reguladores de pressão marca Bermad que mais tarde seria desenvolvida em mesmo formato pela Adrimon, empresa que já fabricava os reguladores para uso na irrigação localizada da Dantas.

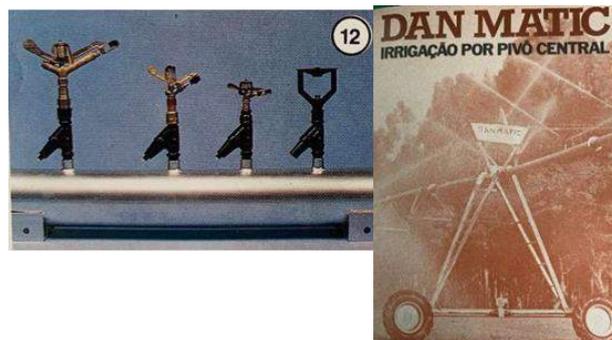


Figura 10. Catálogo pivô Dan Matic.

Utilizava também os emissores tipo impacto da Fabrimar A252 e Dantas MD 20.A, além do *spray* fixo Adrimon. Esses também com mesmo *design* dos emissores super spray da Senninger. A Dantas encerrou suas atividades no mercado de irrigação nos anos de 1990/1991.

Tivemos ainda, no ano de 1985, as empresas Krebsfer Irrigação, de Valinhos-SP e a Irrigabrás Irrigação, de Barueri-SP (Figura 11) que também desenvolveram seus sistemas pivô central, semelhantes aos fabricados pela empresa Reinke Manufacturing Company dos Estados Unidos, fazendo uso de emissores do tipo Spray fixo e de reguladores de pressão, ambos da Fabrimar Produtos para Irrigação.

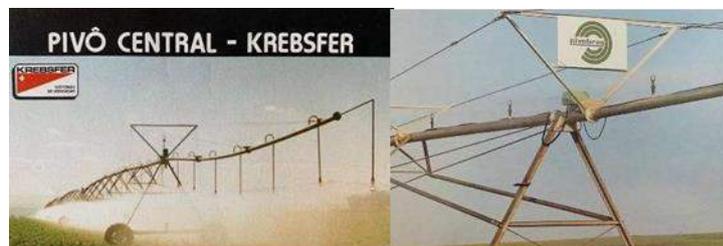


Figura 11. Catálogo pivôs Krebs e Irrigabrás.

Temos também a Fockink Indústrias Elétricas (Figura 12), localizada no município de Panambi-RS, que foi revenda dos produtos Valmatic por um período não maior que dois anos e, instalou no ano de 1985 seus dois primeiros sistemas de irrigação pivô central de 150 hectares cada um, em uma propriedade das Sementes Maggi Ltda, no município de Rondonópolis-MT. Em 1988 já passou a desenvolver e comercializar seus próprios pivôs centrais fazendo uso dos emissores e reguladores de pressão Fabrimar de 14 mca (20 psi), posicionados sobre a tubulação aérea dos equipamentos.



Figura 12. Catálogo pivô Fockink.

Nos anos de 1990 em diante, a Fockink passou a trabalhar em seus pivôs com os reguladores de pressão, modelos LF e MF e com emissores fixos do tipo *super spray* da Senninger (Figura 13), sendo originalmente trazidos diretamente dos Estados Unidos por intermediação do Sr. James Skolnik e depois via Irrigation Components International (ICI), com o Sr. John McCabe.



Figura 13. Catálogo emissores Senninger.

Com o estabelecimento da Senninger Brasil, passaram a trabalhar diretamente via Brasil, no que se referia a emissores e reguladores de pressão e, continuam trabalhando com produtos Senninger e também Nelson (via Nelson Brasil) e Komet, em algumas importações. A Fockink foi a primeira empresa fabricante de sistemas pivô central a utilizar, no Brasil, os emissores oscilantes modelo i-Wobbler da Senninger, em seus equipamentos.

Além dessas empresas, há outras várias que entraram no mercado, fazendo uso dos mesmos modelos de emissores e reguladores de pressão disponíveis, fossem eles, Fabrimar, Senninger ou Nelson. Como dito anteriormente, a maioria dessas empresas fabricantes de sistemas mecanizados nem estão mais no mercado e, portanto, não serão citadas neste capítulo.

4.2 Empresas fabricantes de emissores e reguladores de pressão

4.2.1 Fabrimar produtos para irrigação

O Primeiro modelo de emissores para agricultura, da Fabrimar (Sede na Pavuna, estado do Rio de Janeiro) foi lançado ao mercado no ano de 1984. Em 1986, foram lançados o primeiro aspersor tipo fixo (*spray* AF1) para pivô central e os reguladores de pressão RP (Figura 14). O AF1, era "similar" a geração *spray* I da Nelson e apresentou sérios problemas de quebra. Os bocais eram em latão e com *o'ring* para vedação. O regulador era o modelo RP1 o qual também apresentou problemas de quebra.



Figura 14. Emissor AF1 e regulador RP da Fabrimar.

Devido aos problemas com quebras apresentadas, em 1989 a Fabrimar lançou ao mercado um novo modelo de regulador de pressão, o RP2 (Figura 15), com mudanças drásticas em que foram alterados os corpos de entrada e de saída, ficando com uma área de passagem maior. Esses reguladores de pressão, em conjunto com os emissores AF1, passaram a serem instalados em tubos pendurais para minimização de potenciais perdas devido ao arraste pelo vento.



Figura 15. Detalhamento do regulador RP2 e emissor AF1 Fabrimar.

No mesmo ano de 1991, foi lançado ao mercado o aspersor modelo AF2 (Figura 16), mais compacto e com bocal termoplástico e engate tipo rosca. Tanto os bocais quanto as placas eram pretos.

Em 1995, a Fabrimar lançou ao mercado o modelo de aspersor AF3, com bocais coloridos e também o regulador de pressão modelo RP3 (EXACT) verde e preto e com alguns reforços, porém ainda fazendo uso de seis parafusos para a montagem dos corpos de entrada e saída, bem como o modelo REFIX, ou seja, aspersor fixo regulado com regulador e aspersor em uma mesma unidade (Figura 17).



Figura 16. Foto emissor AF2 Fabrimar.



Figura 17. Conjunto ASFIX AF4 e regulador RP3 Fabrimar.

Por volta do ano de 2004, os reguladores novos eram da geração RP4, sem parafusos e foi também lançado o modelo Asfix AF4 (regulador e aspersor em uma única unidade), com bocal do tipo baioneta. Paralelamente, foram lançados os modelos de placas rotativas (Figura 18).



Figura 18. Emissor ASFIX 4 e placas rotativas da Fabrimar.

Em seguida, no ano de 2005, foi lançado ao mercado o modelo de regulador de pressão RP5, o qual teve o corpo de saída reforçado, para evitar quebras.

4.2.2 Senninger Irrigation Inc.

A Senninger Irrigation, Inc. (Sede em Clérmont, estado da Flórida-USA), foi a primeira empresa estrangeira, do gênero, a se estabelecer no mercado brasileiro no ano de 2003, em Holambra-SP, com a denominação de Senninger Irrigação do Brasil Ltda., com uma estrutura de importação, montagem e distribuição definida e, depois, no ano de 2010, foi transferida ao município de Jaguariúna-SP.

Por ter sido a primeira a se estabelecer e estar há mais tempo no Brasil, hoje detém uma fatia de mercado mais avantajada em relação a seus concorrentes.

O portfólio da empresa para esse mercado está baseado em emissores da linha Wobbler (i-Wobbler e Xi-Wobbbler), Quad Spray, Lepa Shroud, Super Spray, LDN círculo total com uma, duas ou três placas defletoras, LDN círculo parcial, Fan Spray, End Spray, Xcel Wobbler, emissor do tipo impacto Pivot Master e reguladores de pressão nos modelos PRL (4 a 31,6 mca), PSR2 (4 a 35 mca) e MF (4 a 42 mca), para os mais diversos usos em projetos de irrigação.

Em 1963, nos Estados Unidos da América, iniciou suas atividades em irrigação tendo como seu primeiro produto um emissor de impacto à prova de insetos (Figura 19), para atender as necessidades próprias e dos vizinhos produtores de citros na Flórida. Em 1969, desenvolveu os sistemas com bocais coloridos para fácil identificação e que se tornou padrão dentro da indústria dos emissores de irrigação.



Figura 19. Emissor de impacto da Senninger lançado em 1963.

No ano de 1979, introduziu no mercado o aspersor super *spray* (Figura 20), sendo o primeiro modelo de aspersor da Senninger a entrar no mercado brasileiro no ano de 1986 e que ainda há grande utilidade junto aos clientes irrigantes com pivô central e linear, nos mais variados modelos de placas defletoras (planas, côncavas e convexas), lisas ou estriadas (24, 36 e 48 estrias).



Figura 20. Emissor super *spray* da Senninger.

Em 1980 lançou o aspersor tipo Wobbler (Figura 21), que foi o precursor do hoje tão divulgado no mercado brasileiro, i-Wobbler e originalmente projetado para aspersão convencional e disponibilizado ao mercado de pivô central e linear, para ser instalado na parte aérea do equipamento. Como apresentou problemas com vibração, foi desenvolvida entre 1995 e 1996, uma estrutura em tubo de PVC formando um "looping" de maneira que o aspersor pudesse ser instalado em tubos pendurais, mesmo que a posição de instalação no campo fosse em pé ("upright position") e ainda em tubos flexíveis.

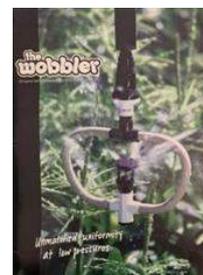


Figura 21. Emissor Wobbler da Senninger.

Para o mercado brasileiro, este modelo de aspersor foi utilizado pela primeira vez no ano de 1996, em alguns sistemas pivô central, no distrito de Mimoso do Oeste, Barreiras-BA pela Fockink Irrigação, através de sua revenda local a Raizel Irrigação.

Em 1997, após ter sido aperfeiçoado pela Senninger, esse tipo de aspersor passou a trabalhar de maneira invertida, com a denominação de i-Wobbler (Figura 22) e fazia uso de tubos pendurais em mangueira flexível (pelo menos sessenta e dois centímetros de mangueira), por apresentar vibração em sua operacionalidade fora de centro ("off center").



Figura 22. Emissor i-Wobbler da Senninger.

Para isso, era necessário o uso de um contrapeso na parte superior para manter o emissor paralelo a cultura e solo. Também foi na Bahia o lugar em que foram instaladas as primeiras unidades desse novo modelo de emissor, pela mesma Raizel Irrigação.

Houve uma evolução muito grande nos emissores i-Wob. Originalmente, os contrapesos eram em tubos de PE ou PVC instalados logo acima dos emissores (externamente aos tubos pendurais ou fixado aos mesmos) e, depois passaram a serem instalados logo abaixo, com diferentes materiais de fabricação, formas e pesos.



Figura 23. Inovações no emissor i-Wobbler da Senninger.

Foi do “Zammac” (one weight) aos plásticos com peso especial internamente -Magnum (Figura 23).

Com relação às placas defletoras ou defletores, foram disponibilizados três diferentes modelos, sendo um preto em ângulo padrão com nove ranhuras e gotas médias, um azul em ângulo baixo com nove ranhuras e gotas médias, um cinza com ângulo padrão com seis ranhuras e gotas pequenas para culturas mais sensíveis e também um modelo branco com ângulo baixo com seis ranhuras e gotas grandes para instalação sobre a tubulação aérea do equipamento.



Figura 24. Detalhe da placa defletora emissor i-Wobbler da Senninger.

As pressões de operação para emissores i-Wobbler (Figura 24) variam de 7 a 14 mca. Nas versões atuais podem ir de 4 a 14 mca.

Para uso em tubos pendurais rígidos ou semirrígidos, a Senninger desenvolveu em 2006, um modelo similar ao i-Wobbler denominado Xi-Wobbler (Figura 25), o qual se utilizava de uma tecnologia patenteada de contrapeso, eliminando a necessidade do uso de tubos pendurais flexíveis e, também com diferentes tipos de defletores (615, 610 e 910) com seis ou nove ranhuras e ângulos de trajetória e tamanho de gotas diferentes e um modelo 605 para instalação sobre a tubulação aérea. Pressões de operação variando de 7 a 10,5 mca para tubos pendurais e de 7mca para uso sobre a tubulação.



Figura 25. Emissor Xi-Wob.

Tanto as versões dos emissores i-Wobbler, quanto dos Xi-Wobbler atendem a faixas de vazões distintas de acordo com o tipo de defletor, para melhor se ajustar à uniformidade adequada de distribuição de água ao solo e cultura.

Um outro modelo de emissor desenvolvido pela Senninger é o Quad Spray (Figura 26).

Surgiu, após atender juntamente com outras empresas ao desafio da irrigação por pivô central em áreas com baixa disponibilidade de água como no Texas, no ano de 1983, em que apresentou ao mercado seu modelo de irrigação com o conceito “Lepa”, ou seja, aplicação de água com baixo consumo de energia.



Figura 26. Emissor Quad Spray (tipo LEPA) da Senninger.

No ano de 1996, foi atribuída uma nova utilidade a esse emissor no mercado brasileiro, após uma sugestão de se irrigar a cultura do café de maneira localizada em plantio circular sob pivô central. Após tentativas de uso do emissor super *spray* com placa cônica, feita por Sérgio P. Zaggo, na região de Patos de Minas-MG, testamos o aspensor Quad Spray em uma lavoura de café na empresa Agronol em Mimoso do Oeste, então distrito de Barreiras-BA, cujos envolvidos foram: Sérgio Verre (fazenda), Paulo Selmi Dei Gontijo (Consultor da fazenda) e por mim, Claudio Tomazela (Consultor em Irrigação).

Dessa tentativa bem-sucedida, resultou no uso do Quad Spray de maneira expressiva nas lavouras de café no Oeste Baiano e em outras regiões do Brasil (Figura 27).



Figura 27. Detalhe de aplicação de água do aspensor Quad Spray da Senninger.

O primeiro projeto realmente dimensionado para irrigação em pivô central de maneira localizada, fazendo uso dos emissores Quad Spray, na função "Lepa" sobre a planta do café (bulbo cônico ou cheio como na foto), foi na Agribahia S/A no ano de 1997 em pivôs centrais da Valmont Indústria e Comércio.

O emissor Quad Spray apresenta quatro funções de operação (bulbo cheio ou cônico, bulbo aerado, irrigação e quimigação), sendo utilizado na irrigação do café apenas as funções de irrigação e bulbo cônico ou cheio. As intensidades de precipitação desses emissores podem ser muito elevadas, principalmente na fase de desenvolvimento inicial da cultura e com a aproximação do aspensor ao topo da planta ainda jovem sem coberturado solo, caso o projeto não seja bem dimensionado, causando mais danos que benefícios. Assim sendo, há a necessidade de se considerar o dimensionamento como do projeto de irrigação como sendo de maneira localizada.

Houve tentativas por parte dos agricultores, com objetivo de baratear o custo do sistema, adaptando-se o super *spray* a um balde plástico (Figura 28). Devido ao tipo de aplicação da água e com projetos dimensionados sem se considerar como irrigação localizada, vários problemas ao solo e sistema radicular da planta, foram apresentados.



Figura 28. Adaptações práticas para aplicação localizada da água.

Visando baratear o custo do emissor e torná-lo mais eficiente, com apenas duas funções (irrigação em área total no início da cultura e bulbo cheio nas demais fases, sobre a planta), foi solicitado à Senninger o desenvolvimento de um modelo semelhante, porém com uma estrutura mais simples.

Essa solicitação foi levada a cabo apenas anos mais tarde com o desenvolvimento do emissor "Lepa café" ou "Lepa Shroud" (Figura 29). O mesmo, hoje, é utilizado na irrigação de

culturas como milho, arroz, algodão, dentro do conceito "Lepa", em baixas pressões de operação e em espaçamentos reduzidos dos plantios e já com os bocais da série UP3.



Figura 29. Novo emissor Quad Spray simplificado para duas funções: bulbo cheio e área total.

Em 1990, a Senninger lançou ao mercado o emissor LDN (aspersor com bocal de baixa deriva ou Low Drift Nozzle (Figura 30), sendo que esse modelo de emissor teve pouca penetração no mercado brasileiro com poucas unidades instaladas e ainda em regiões bem específicas.



Figura 30. Emissor LDN da Senninger.

O conceito deste emissor é o de haver menos perdas por arraste pelo vento e era composto de três possíveis configurações de placas defletoras: única, dupla ou tripla, podendo ser uma mistura de angulação (plana, côncava e convexa). Este modelo de emissor era ou ainda é muito utilizado nos mercados da África do Sul, Arábia Saudita e Austrália.

Outros dois modelos de emissores disponibilizados pela Senninger ao mercado de irrigação, são o "Fan Spray" e o LDN part circle (Figura 31). Ambos se apresentam com um ângulo aproximado de 170 graus, para uso em posições próximas às torres dos equipamentos objetivando manter as trilhas secas e minimizar o problema de atolamento das rodas dos equipamentos.



Figura 31. Emissores Fan *spray* e LDN da Senninger.

O modelo "Fan Spray" é também muito utilizado na irrigação da cultura de Citros ou mesmo do café, de maneira localizada lateralmente às plantas.

Há também na linha de produtos Senninger, os emissores de impacto com rosca metálica (Figura 32), tendo os modelos 3006, laranja, 4006, branco e o 5006 azul, com diferentes composições de bocais e pressões variando de 21 a 42 mca (30 a 60 psi). Servem para instalação na parte superior da tubulação, visando a irrigação normal de culturas, ou até mesmo para aplicação de chorume ou outros dejetos agrícolas em sistemas pivô central e linear.



Figura 32. Emissores de impacto da Senninger.

Com vistas a melhorar o desempenho de seus produtos com relação a distribuição de água ao longo dos sistemas pivô central e linear, a Senninger também apresentou ao mercado uma série de acessórios (Figura 33). São os adaptadores de tirantes (TRHS), em diferentes bitolas para atender a uma ampla gama de modelos de pivôs; Curvas plásticas simples ou duplas de 125°; Curvas de 180°; Sistemas *boom*, etc., bem como um aspersor final de sistema (*end spray*) de 180°, com quatro opções de bocais para minimizar os efeitos da poeira nas bordaduras dos sistemas.



Figura 33. Acessórios de acoplamento dos emissores da Senninger no pivô central.

No ano de 2010, a Senninger, lançou ao mercado uma nova geração de bocais coloridos, denominados UP3 (Figura 34), em diâmetros de #4 ao #26 incluindo os intermediários, com as características de encaixe, solte, aperte e retire (place, click, pinck e pull), atendendo a todos os modelos de emissores exceto o modelo Fan Spray.



Figura 34. Bocais UP3 da Senninger.

Até o ano de 2010, havia uma gama de bocais para atender aos modelos de emissores i-Wobbler e outra para atender aos emissores modelos super *spray* e LDN. Os emissores Fan Spray já eram os próprios bocais. A escolha dos diâmetros utilizados é função do modelo de emissor e das necessidades individuais de cada projeto.

Com os novos modelos de bocais UP3, as configurações dos emissores que foram comercializados no Brasil até 2019, tiveram algumas alterações estruturais, sendo eles dos seguintes modelos: super *spray* UP3, i-Wob UP3, Xi-Wob UP3, LDN UP3, entre outros.

Emissor super *spray* UP3 (Figura 35), com as mesmas características operacionais, tendo as placas planas pretas, côncavas azuis ou convexas verdes. Pressões de operação de 4 a 28 mca (6 a 40 psi) e toda a gama de bocais disponíveis.



Figura 35. Emissores super spray UP3 da Senninger.

Emissor i-Wob UP3 (Figura 36), com placas defletoras ou defletores, disponibilizados em quatro diferentes modelos, sendo um modelo preto em ângulo padrão, um modelo azul em ângulo baixo, um modelo cinza em ângulo padrão com gotas pequenas para culturas mais sensíveis e também um modelo branco em ângulo baixo. As placas defletoras apresentam diferentes configurações de ranhuras e as pressões variam de 7 a 14 mca (10 a 20 psi), com diferentes requerimentos de bocais.



Figura 36. Emissor i-Wob UP3 da Senninger.

Emissor Xi-Wob UP3 (Figura 37), modelos 615 UP3 preto, 610 UP3 azul, 910 UP3 cinza e 605 UP3 TOP branco, com diferentes ranhuras, ângulos de trajetória e tamanho de gotas, para usos em tubos pendurais ou sobre a tubulação aérea (modelo 605), tendo diferentes combinações de bocais. Pressões de 7 a 10,5 mca (10 a 15 psi), para os modelos Xi-Wob 615 UP3, Xi-Wob 610 UP3 e Xi-Wob 910 UP3, e de 7 mca (10 psi) para o modelo Xi-Wob 605 TOP UP3.



Figura 37. Emissor Xi-Wob UP3 da Senninger.

Emissor LDN UP3 (Figura 38), com placas única, dupla ou tripla e diferentes composições de bocais em função das necessidades ao longo dos sistemas e do tipo de aplicação desejado às culturas. Pressões de operação de 4 a 14 mca (6 a 20 psi), exceto ao círculo parcial em que a pressão é de 4 a 10,5 mca (6 a 15 psi).



Figura 38. Emissor LDN UP3 da Senninger.

Emissor Xcel Wobbler UP3 Top (Figura 39), com placa única e pressão de 7 mca (10 psi). Originalmente designado para atender aos dois primeiros vãos do equipamento, complementado com Xi-Wob UP3 sendo depois utilizado em toda o equipamento e para toda a máquina, em toda a gama de bocais.



Figura 39. Emissor e regulador de pressão da Senninger.

Em 2016, a Senninger Irrigation, Inc. passou a fazer parte do grupo Hunter Industries, da Califórnia-USA, e mesmo mantendo a estrutura em Clérmont, em 2020 alguns produtos foram descontinuados, tais como i-Wob UP3, Quad Spray e Xi-Wob 605 Top UP3 e outros tiveram alguma alteração estrutural, como o i-Wob UP3, passando a ser denominado de i-Wob2, com quatro placas disponíveis.

A alteração estrutural resultante no modelo i-Wob2 (Figura 40), com uma capa na parte superior, teve como objetivos minimizar potenciais problemas de acúmulo de água dos emissores vizinhos instalados no sistema e reduzir potenciais problemas em água com material sólido se acumulando e causando desgaste da estrutura responsável pelo movimento oscilante da placa defletora.

Emissor i-Wob2, com placas defletoras ou defletores, disponibilizados em quatro diferentes modelos, sendo um modelo preto em ângulo padrão, um modelo azul em ângulo baixo, um modelo cinza em ângulo padrão, para culturas mais sensíveis e ainda um modelo branco em ângulo baixo. As pressões variam de 4 a 10,5 mca (6 a 15 psi), dependendo do modelo da placa e dos bocais utilizados.



Figura 40. Emissor i-Wob2 da Senninger.

Nos primeiros projetos de irrigação com sistemas pivô central e linear, não se utilizavam os reguladores de pressão, mesmo quando se dimensionava os equipamentos com emissores de impacto. Eram normalmente pivôs de pequeno porte e utilizados em topografia suave. O dimensionamento era baseado em um percentual de perda de carga admissível ao longo do comprimento da tubulação do sistema. Visando atender à uniformização das pressões nas entradas dos emissores ao longo do equipamento, a Senninger faz uso de reguladores de pressão, para qualquer tipo de emissor utilizado.

Com relação aos reguladores de pressão, a Senninger desenvolveu um modelo em linha, com várias faixas de vazão e pressão de maneira a atender aos mais variados tipos de equipamento.

Os reguladores de pressão da Senninger (Figura 41), para pivô central e linear eram dos tipos (i) Pivot master low-flow regulator (LF), pressões de 4 a 31,6 mca (6 a 35 psi) e vazões de 114 a 1136 L h⁻¹ nas pressões de 4 e 7 mca (6 e 10 psi) e de 23 a 1817 L h⁻¹ nas pressões de 8,4 m (12 psi) ou mais, e (ii) Pivot Master medium-flow regulator-MF, pressões de 4 a 42 mca (6 a 60 psi) e vazões de 909 a 3634 L h⁻¹ nas pressões de 4 e 7 mca (6 e 10 psi) e de 454 a 4542 L h⁻¹ nas pressões de 8,4 mca (12 psi) ou mais.



Figura 41. Reguladores de pressão da Senninger.

No ano de 1997, desenvolveu um regulador de pressão tipo universal, denominado Pivot Special Regulator (PSR), (Figura 42), sem parafusos, com pressões de 4 a 35,2 mca (6 a 50 psi) e vazões de 114 a 3407 L h⁻¹ em toda a gama de pressões. Dessa maneira, era possível ter um único modelo de regulador para atender a toda gama de bocais desde o início do equipamento até a extremidade final, para tentar minimizar o efeito de estoque de material nas fábricas, revendas e clientes finais.



Figura 42. Regulador de pressão tipo universal, denominada PSR da Senninger.

A partir de 2010, a Senninger mudou as características do modelo LF, assemelhando-se ao modelo PSR, denominada de PRL, formando assim uma nova configuração de opções de reguladores, sem alterar as pressões e vazões dos mesmos (Figura 43).



Figura 43. Reguladores de PRL, PSR e M da Senninger.

No ano de 2015, a Senninger, lançou ao mercado uma nova versão do modelo PSR, denominando-a de PSR-2 (Figura 44), com algumas alterações estruturais na parte da entrada da válvula para reduzir problemas de potenciais entupimentos.



Figura 44. Regulador de pressão PSR-2 da Senninger.

Para esse novo modelo de regulador, as características operacionais se mantiveram as mesmas, tanto é que o modelo PSR, original foi descontinuado do mercado no ano de 2020.

4.2.3 Nelson Irrigation, Inc.

Nelson Irrigation, Inc.: a segunda empresa estrangeira a vir ao mercado brasileiro foi a já tradicional fabricante de emissores e de reguladores de pressão, ambos dos mais variados tipos e desempenhos, Nelson Irrigation, Inc. (Sede em Walla, estado de Washington-USA) e se estabeleceu no ano de 2015, na cidade de Mogi Mirim-SP com uma estrutura de importação, montagem de partes de produtos e distribuição tendo como Razão Social o nome Nelson Irrigação Brasil Ltda. Com a nova estrutura no Brasil, tem aos poucos recuperado parte do mercado que havia ficado de lado na linha de produtos para irrigação pivô central e linear, composta de emissores rotativos (círculo total ou parcial), emissores do tipo spray (círculo total ou parcial), emissores híbridos, emissores oscilantes, soluções fim de sistema, reguladores de pressão, válvulas controladoras, etc.

Os emissores tipo fixo Nelson Spray-I e Spray-III, para uso em sistema de irrigação pivô central e linear, utilizavam bocais da série 3RN, metálicos, praticamente em toda a gama de bocais disponíveis e pressões de 7 a 28 mca (10 a 40 psi), Figura 45.



Figura 45. Emissor Fixo Spray-I da Nelson.

Os modelos Spray-II, utilizavam bocais 3RN com diâmetros indo dos menores até uma faixa intermediária e pressões de 7 a 28 mca (10 a 40 psi). As placas defletoras desses emissores correspondiam aos modelos FLS (plana lisa) e FLMG (plana com ranhura média).

Apesar de ter sido em 1981 que o mecanismo de rotação dos emissores tenha sido conceitualizado pela Nelson Irrigation, somente em 1987 é que foi desenvolvido o primeiro aspersor rotativo do mercado e lançado o aspersor Rotator série 30 (R30), com as opções de uso sobre a estrutura do pivô (R30-U4 UP TOP) ou em tubos pendurais (R3-D4 ou D6), aproximando os emissores da cultura ou solo (Figura 46).

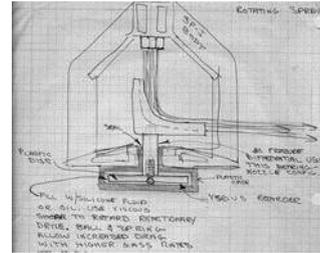


Figura 46. Esquema do primeiro emissor rotativo da Nelson.

Importante frisar que a tecnologia rotativa dos emissores, permite que se instale os mesmos sobre a tubulação aérea dos equipamentos ou em tubos pendurais, rígidos ou semirrígidos, sem a necessidade de um contrapeso ou ainda em tubospendurais flexíveis, sendo neste caso necessário instalar contrapesos para manter os emissores paralelos à superfície do solo ou cultura. Mais adiante, lançou os emissores Rotator com controle de fluxo nos bocais (FCN). Assim muitos pivôs que foram comercializados pela Carborundum e mais tarde pela Lindsay no Brasil, foram instalados com essa tecnologia e muitos deles ainda estão em operação no campo.

Os emissores rotativos da série R30 (Figura 47), faziam uso dos bocais da série 3RN metálicos em pressões de 10,5 a 28 mca (15 a 40 psi) para o modelo U4 UP TOP, de 10,5 a 35,6 mca (15 a 50 psi) para o modelo D4 e de 7 a 28 mca (10 a 40 psi) para o modelo D6, dependendo do diâmetro do bocal de cada um. As placas defletoras utilizadas eram a U4 UP Top azul, D4 verde, D6 vermelha e D6 amarela, com diferentes ângulos de trajetória e tamanho de gotas. Pressões variando de 7 a 35,6 mca (10 a 50 psi), dependendo do tipo de placa e posição de instalação na tubulação aérea.



Figura 47. Emissor rotativo R30 da Nelson.

O passo seguinte da Nelson foi lançar a geração 3000 (Figura 48), no ano de 1995, com aspersor fixo (D3000 sprayhead), rotator (R3000) e spinner (S3000), além de um dispositivo parar irrigação em sulcos via pivô central e linear, com arraste de mangueira (HD3000 Hose Drag). Este último produto não teve utilização no Brasil.



Figura 48. Emissor fixo 3000 da Nelson.

Emissor Fixo sprayhead, D3000 (Figura 49). Disponível em trinta e seis opções de bocais coloridos, do #9 ao #50, incluindo os intermediários e placas defletoras cinza, preta, azul, púrpura, amarela, verde e turquesa, nas mais variadas formas (planas, côncavas ou convexas, lisa, ranhura média ou grossa com 24 ou 36 estrias). Pressão de operação de 4 a 28 mca (6 a 40 psi).



Figura 49. Emissor Fixo sprayhead, D3000 da Nelson.

Emissor rotator R3000 (Figura 50). Apresenta o maior raio de alcance entre os emissores disponíveis no mercado, reduzindo assim a intensidade de precipitação instantânea. Apresenta-se em trinta e seis opções de bocais coloridos, incluindo os intermediários e com placas defletoras azul e branca para uso sobre a tubulação aérea (U-TOP) ou verde, vermelha, laranja e marrom, para uso em tubos pendurais (D), com diferentes ranhuras (quatro ou seis) e ângulos de trajetória de 12° ou 8° e pressões de 10,5 a 35 mca (15 a 50 psi), dependendo do modelo de placa e bocal 3TN.



Figura 50. Emissor rotator R 3000 da Nelson.

Emissor spinner S3000 (Figura 51). Esse emissor possui uma ação livre na rotação, a qual permite produzir gotas mais leves. Disponível em trinta e seis opções de bocais coloridos, incluindo os intermediários e placas defletoras vermelha, roxa ou amarela, para uso em tubos pendurais (D), com seis ou oito ranhuras e diferentes ângulos de trajetória (12°, 20° ou 21°) e pressões de 7 a 14 mca (10 a 20 psi), dependendo da placa e do bocal tipo 3TN. Há também uma placa bege para bocais pequenos, com uma ranhura apenas.



Figura 51. Emissor spinner S3000 da Nelson.

Emissor accelerator A3000 (Figura 52). Trata-se de um aspersor intermediário entre o rotator e o spinner, como uma opção híbrida e foi desenvolvido visando melhorar a eficiência da irrigação dos pivôs já dimensionados com emissores tipo Spray, transformando-os em um aspersor rotativo, sem a necessidade de substituição dos corpos dos mesmos.



Figura 52. Emissor accelerator A3000 da Nelson.

Trabalha com giro acelerado de maneira crescente em função das vazões de cada bocal, assemelhando-se a um rotator em baixas vazões e a um spinner em vazões maiores.

Disponível em trinta e seis opções de bocais coloridos, incluindo os intermediários e placas defletoras nas cores castanho e dourado para uso em tubos pendurais (D) e azul marinho para uso sobre a tubulação aérea (UP Top), com quatro ranhuras e pressões de 4 a 10,5 mca (6 a 15 psi), dependendo da placa e do bocal tipo 3TN.

Os modelos dos emissores rotator R3000 e spinner S3000, são atendidos por um mesmo corpo ao passo que os emissores sprayhead D3000, o Accelerator A3000 e os borbulhadores (Lepa, Lesa e Lena), são atendidos por outro modelo de corpo. Os emissores Trahsbuster, sprayhead PC, spinner PC e rotator PC, tem seus próprios corpos, cada um com seus modelos específicos.

Emissor Nelson sprayhead D-3000, círculo parcial. Emissor de 170° de arco (part circle PC-D3000), Figura 53, em baixo ângulo de trajetória, com placa côncava azul e gotas médias. Pressões de 7 a 10,5 mca (10 a 15 psi) e bocais 3TN de números #9 a #50. Devem ser montados em tubos rígidos.



Figura 53. Emissor sprayhead PC-D3000 da Nelson.

Emissor Nelson spinner S3000, círculo parcial (Figura 54). No ano de 1998 a Nelson Irrigation disponibilizou ao mercado um aspersor de 190° (Part Circle PC-S3000) de arco (variando um pouco com a vazão), apresentando gotas leves e baixa intensidade de precipitação, com pressões de 7 a 14 mca (10 a 20 psi), bocais de 3TN de números #14 a #40, para contribuir com a minimização de problemas nos rastros das rodas dos pivôs. Estes devem ser montados em tubos rígidos.



Figura 54. Emissor spinner PC-S3000 da Nelson.

Emissor Nelson trash-buster (Figura 55). Emissores T3000 ou T3000FC. Desenhados para aplicação de águas residuárias, estes emissores se apresentam com placas defletoras rotativas, azul (posição UP Top) ou verde (em pendurais) e capa azul do rotator R3000 ou então as fixas, verde, azul, amarela, preta, roxa ou laranja e tampa 3000, roxa. Pressões de 17,5 a 35 mca (25 a 50 psi), e bocais 3TN ou 3000FC (Flow Control).



Figura 55. Emissor T3000 e T3000FC da Nelson.

Emissor Nelson rotator part circle PC-R3000 (Figura 56). No ano de 2004, a Nelson Irrigation disponibilizou ao mercado um aspersor de 180° de arco (variando um pouco com a vazão), apresentando gotas mais grossas, porém com baixa intensidade de precipitação e com pressões de 10,5 a 17,5 mca (15 a 25 psi) para bocais de 3TN de números #14 a #23 em placas branca e 3TN de #24 a #39, para placa bronzada e ainda pressões de 10,5 a 21 mca (10,5 a 30 psi), para bocais 3TN de números #40 a #50 para placa Preta.



Figura 56. Emissor rotator PC-R3000 da Nelson.

Devem ser montados em tubos rígidos, e servem para contribuir com a minimização de problemas nos rastros das rodas dos pivôs.

Emissor orbitor O3000 (Figura 57). No ano de 2010, a Nelson Irrigation lançou ao mercado o aspersor O3000, sem abas no corpo, eliminando problemas de gotejamento sob o aspersor e com a disponibilidade de trinta e seis opções de bocais coloridos, incluindo os intermediários, pressões de 7 a 14 mca (10 a 20 psi) e três tipos de placas defletoras, preta de ângulo padrão, azul de ângulo reduzido e roxa com gotas pequenas para culturas mais sensíveis. Há os modelos com peso metálico inserido no corpo e outro com uma capa plástica e sem peso, havendo a necessidade de se



Figura 57. Emissor orbitor O3000 da Nelson.

colocar um peso acima do aspersor, uma vez que é necessário ter pelo menos um trecho de sessenta e dois centímetros de pendural flexível.

Emissor accelerator e sprayhead (Figura 58) para aplicações diversas. Para as funções de irrigação Lepa (baixo uso de energia), Lesa (altura intermediária dos emissores ou Lena (padrão Nelson de Irrigação), a Nelson disponibilizou um modelo de aspersor accelerator no qual se instala um adaptador ou conversor do tipo 3 em 1, podendo fazer as funções de bulbo aerado, bulbo cheio ou mesmo irrigar em sulcos, com mangueiras de arraste. No caso dos sprayheads, há a necessidade de um corpo específico, o que não ocorre com o accelerator, para se utilizar as funções citadas.



Figura 58. Emissor accelerator e sprayhead da Nelson.

Soluções trechos finais de sistema

A Nelson possui em seu portfólio uma série de produtos para atender à demanda de irrigação uniforme no final dos equipamentos pivô central e linear. Compõe-se de emissores do tipo canhão (SR75 e SR100), emissores rotativos (R55 e R55i), Emissores setoriais (R75LP e R75) e válvulas de fechamento do canhão (SRNV100).

(i) Emissor *Big Gun* SR75 e SR100 (Figura 59)

Disponível em vazões de 6,8 a 36,3 m³ h⁻¹ e pressões de 17 a 55 mca (24 a 78 psi). Ângulo horizontal ajustável. Bocal com anel e emissor big gun SR100. Disponível em vazões de 11,4 a 68,2 m³ h⁻¹ e pressões de 28 a 55 mca (40 a 78 psi). Ângulo horizontal ajustável. Bocal cônico.



Figura 59. Emissores tipo Big Gun SR75 e SR100, final de sistema da Nelson.

(ii). Emissor rotativo de círculo parcial

Emissor R55 (Figura 60). Disponível, a partir do ano de 2015, em vazões de 4,1 a 16,8 m³ h⁻¹ e pressões de 10,5 a 28,0 mca (15 a 40 psi). Ângulo horizontal fixo em 180° e outro modelo o emissor R55i, disponível, no ano de 2016, em vazões de 4,1 a 13,1 m³ h⁻¹ e pressões de 10,5 a 27,5 mca (15 a 40 psi). Ângulo horizontal fixo em 180°.



Figura 60. Emissores rotativos R55 e R55i de círculo parcial da Nelson.

Mais recentemente, no ano de 2019, a Nelson, fez algumas alterações nas configurações dos emissores de círculo parcial para uso nos finais de equipamentos e os mesmos passaram a ter as características de 180° nos modelos R55VT e R55iVT (Figura 61). As características de vazão passaram de 4,3 a 17,1 m³ h⁻¹ e pressão de 10,5 a 42 mca (15 a 60 psi), respectivamente no modelo R55VT e, de 4,3 a 14,3 m³ h⁻¹ de vazão e 10,5 a 42 mca (15 a 60 psi) de pressão, nos modelos R55iVT. Uma maior pressão



Figura 61. Emissores rotativos R55VT e R55iVT de círculo parcial da Nelson.

por ter torque variável, sem alterar a velocidade de giro do emissor.

(iii). Emissor setorial

Emissores R75LP de baixa pressão e R75 padrão (Figura 62). Disponível a partir do ano de 2016, em vazões de 5,4 a 18,6 m³ h⁻¹ e pressões de 17,5 a 27,5 mca (25 a 40 psi), para o modelo LP e vazões de 6,8 a 20,4 m³ h⁻¹ e pressões de 27,5 a 42 mca (25 a 40 psi) para o modelo padrão. Ângulo horizontal ajustável.



Figura 62. Emissores setoriais R75LP e R75 da Nelson.

(iv). Emissor canhão com válvula de fechamento

Emissor com válvula de fechamento SRNV100 (Figura 63). Para uso em condições em que não se queira irrigar determinado trecho da área.



Figura 63. Emissor canhão e válvula SRNV100 da Nelson.

Acessórios

A Nelson também apresenta uma série de acessórios para melhorar o uso dos seus produtos, buscando eficiência final da irrigação. Tais produtos visam a melhor adequação dos emissores ao longo dos equipamentos de irrigação.

Curvas plásticas de 180°, pesos metálicos (*Zammac Slim*) e peso Mola, adaptadores plásticos para os emissores R55 e R75, clips para bocais auxiliares no campo (Figura 64).



Figura 64. Acessórios de emissores de final de linha da Nelson.

No ano de 2015, a Nelson Irrigation, lançou ao mercado sua nova geração de bocais coloridos (Figura 65) com base em incrementos de 128 centésimos de polegadas, a série 3NV 3030, atendendo a quase toda sua linha de produtos para pivô central e linear, equivalendo aos números #9 ao #50. O emissor Trashbuster continua com a série de bocais 3000. As quatro funções deste modelo de bocal 3NV, são a instalação, irrigação, fechamento e limpeza pendural no aspersor e também a irrigação, depois fechamento do bocal e limpeza do pendural. A opção de fechamento dá uma grande flexibilidade operacional ao irrigante em poder verificar se há algum detrito.



Figura 65. Linha de bocais série 3NV 3030 da Nelson.

Caso esteja obstruído, pode-se inverter o bocal e fazer a limpeza. Serve também para fechar algumas unidades, um vão inteiro ou ainda vários vãos do sistema para efeito de colheita, manutenção, etc. Isso tudo, sem a necessidade de desligamento do sistema. Trata-se de mais uma revolução no mercado de irrigação por aspersão.

Para o mercado brasileiro, os produtos Nelson são enviados da matriz americana à unidade Nelson Brasil em Mogi Mirim-SP, e os emissores já vêm com a série de bocais 3NV 3030.

Dessa maneira, a linha de produtos da Nelson (Figura 66) passou a ser a mais completa, atendendo as necessidades do equipamento desde a torre central até as soluções fim de sistema, com os emissores do tipo spray fixo (D3030), rotator (R3030), spinner (S3030), accelerator (A3030), Trashbuster (T3000), orbitor (O3030), além dos de círculo parcial (sprayhead, rotator e spinner) e mais um novo modelo de aspersor, o orbitor FX, para uso sobre a tubulação aérea dos equipamentos.



Figura 66. Diversos modelos de emissores Nelson.

Soluções atuais: as configurações dos produtos da linha Nelson, que atendem ao mercado de irrigação universal, incluindo o Brasil, são os que seguem:

Emissores fixo sprayhead D3030 (Figura 67). Atende a mesma faixa de bocais e pressões da série 3000, e também a gama de placas defletoras sendo acrescidas dos modelos vermelha, branca e roxa, podendo ser lisas, planas ranhura média ou ranhura grossa, para diferentes finalidades como germinação, irrigação ou "quimigação". Os bocais 3 NV atendem a toda gama, sendo do #9 ao #50, incluindo os intermediários.



Figura 67. Emissor Fixo sprayhead da Nelson.

Emissores rotator #R3030 (Figura 68). Os modelos da série 3030, apresentam mais opções de placas defletoras, sendo essas as placas, azul UP4 e branca, para serem instalados sobre a tubulação aérea dos equipamentos e as placas verde, vermelha, laranja, marrom e oliva, para serem instaladas em tubos pendurais, tendo diferentes ângulos de trajetória, combinações de ranhuras e pressões de operação de acordo com as composições de bocais 3NV e placas defletoras. Há uma placa específica ao mercado brasileiro que é a Oliva que



Figura 68. Emissor rotator R3030, da Nelson.

trabalha em pressões de 7 a 10,5 mca (10 a 15 psi).

Emissor spinner S3030 (Figura 69). Os modelos da série 3030, apresentam mais opções de placas defletoras, sendo essas as placas, púrpura D6-20°, vermelha D6-12°, amarela D8-21° e bege (pequena), para instalações em tubos pendurais e mais a placa lima UP TOP, para uso sobre a tubulação aérea do pivô. Pressão de operação de 7 a 14 mca (10 a 20 psi) e com combinações de ranhuras de acordo com as composições de bocais 3NV e placas defletoras.



Figura 69. Emissor spinner S3030, da Nelson.

A placa bege deve sempre ser instalada em pendurais flexíveis de pelo menos trinta centímetro. Pressões de 7 a 10,5 mca (10 a 15 psi).

Emissor accelerator A3030 (Figura 70). Os modelos da série 3030 apresentam o mesmo princípio de operação e tem mais opções de placas defletoras: marrom e dourada, para uso em tubos pendurais e uma azul marinho, para instalação sobre a tubulação aérea do equipamento.



Figura 70. Emissor accelerator A3030 da Nelson.

Com diferentes ângulos de trajetória e quatro ranhuras, atende a toda gama de bocais do tipo 3NV, disponíveis. Pressões de operação de 4 a 10,5 mca (6 a 15 psi), para todas as placas.

Emissor Orbitor O3030 (Figura 71). Também esse modelo de emissor, quando comparado aos da série 3000, bocais 3TN, não apresenta diferenças operacionais em relação à série 3NV e a faixa de pressão vai de 4 a 14 mca (6 a 20 psi). Apresenta os mesmos tipos de placas defletoras, preta de ângulo padrão, azul de ângulo reduzido e Roxa com gotas pequenas para culturas mais sensíveis.



Figura 71. Emissor orbitor O3030 da Nelson.

Mantém os modelos com peso metálico inserido no corpo e outro com uma capa plástica, sem o peso, havendo a necessidade de se colocar um peso acima do emissor, uma vez que é necessário ter pelo menos um trecho de sessenta e dois centímetros de pendural flexível.

Emissor FX Orbitor (Figura 72). No ano de 2020, a Nelson lançou ao mercado um novo modelo de aspersor que até o momento não veio ao Brasil, mas que em futuro bem próximo chegará. Trata-se do modelo FX orbitor, para ser instalado sobre a tubulação aérea dos equipamentos com a placa Branca de 9 ranhuras a fim de atender principalmente a cultura do milho, com a mesma eficiência do orbitor O3030. Há ainda a opção para tubos pendurais, com a necessidade do uso de contrapeso auxiliar.



Figura 72. Emissor FX orbitor da Nelson.

Também faz uso dos bocais tipo 3NV e atende a toda de gama disponível do número #12ao #50 para 10,5 mca (15 psi) e de #16 a #50, para 4 mca (6 psi) de pressão.

Emissor Nelson Sprayhead D3030, círculo parcial (Figura 73). Emissor de 170° (part circle PC-D3030) de arco em baixo ângulo de trajetória, com o corpo universal o qual atende ao círculo parcial ou ao adaptador para mangueira de arraste. Para a função "Lepa" apresenta um acessório específico. As demais especificações são as mesmas do PC-D3030 quanto a bocais, pressões, tamanho de gotas e tipo de instalação, exceto para a série de bocais que passa a ser 3NV 3030.



Figura 73. Emissor sprayhead PC da Nelson.

Emissor Nelson Spinner S3030, círculo parcial (Figura 74). Esse modelo de aspersor (part circle PC-S3030) também manteve as mesmas características operacionais da série 3000, tendo a alteração no corpo para adaptação dos bocais da série 3NV 3030 que atendem desde o número #14 ao número #40. Arco de 190° (variando um pouco com a vazão), apresentando com gotas leves e baixa intensidade de precipitação, com pressões de 7 a 14 mca (10 a 20 psi). Devem ser montados em tubos rígidos, para contribuir com a minimização de problemas nos rastros das rodas dos pivôs.



Figura 74. Emissor spinner PC da Nelson.

Emissor Nelson Trash-Buster. (Figura 75). Desenhado para aplicação de águas residuárias, este aspersor (T3000 ou T3000FC) não foi alterado e mantém as mesmas características estruturais, inclusive os bocais e placas rotativas azul (posição UP Top) ou Verde (em pendurais) e capa azul do rotator R3000 ou então as fixas, verde, azul, amarela, preta, roxa ou laranja e tampa 3000, roxa. Pressões de 17,5 a 35 mca (25 a 50 psi), e bocais 3TN ou 3000FC (Flow Control). Há também a possibilidade do uso do corpo do aspersor acoplado ao adaptador universal U3030, com o bocal 3NV 3030.



Figura 75. Emissor Trash-Buster da Nelson.

Emissor Nelson Rotator R3030, círculo parcial (Figura 76). O mesmo ocorre com esse modelo de aspersor (part circle PC-R3030), o qual mantém as características operacionais da série 3000, com alterações nos bocais que agora são da série 3NV 3030. O mesmo arco de giro de 180° (variando um pouco com a vazão) e também as mesmas exigências de instalação e uso nos equipamentos citados na série PC R3000.



Figura 76. Emissor rotator PC-R3030 da Nelson.

Emissores Accelerator e o Sprayhead (Figura 77) em aplicações diversas. Excetuando-se os bocais que passam a ser da série 3NV 3030, as demais funções desses emissores se mantêm as mesmas tanto para Lepa quanto para Lesa ou Lena). No caso dos Sprayheads, há a necessidade de um corpo específico, o que não ocorre com o accelerator, para se utilizar as funções acima citadas.



Figura 77. Emissores accelerator e o sprayhead da Nelson.

Para as funções de irrigação Lepa (baixo uso de energia), Lesa (altura intermediária dos emissores ou Lena (padrão Nelson de Irrigação)), a Nelson disponibilizou um modo de aspersor, o Accelerator no qual se instala um adaptador ou conversor do tipo 3 em 1, podendo fazer as funções de bulbo aerado, bulbo cheio ou mesmo irrigar em sulcos, com mangueiras de arraste.

Reguladores de pressão (Figura 78): para completar a linha de produtos da Nelson e atender a toda a gama de emissores nos mais variados equipamentos mecanizados, há uma série de modelos de reguladores de pressão. Não vamos considerar, neste capítulo, as válvulas controladoras, que também são disponibilizadas pela Nelson, por não fazer parte do kit de aspersão propriamente dito. Dessa maneira, seguem os modelos de reguladores de pressão fabricados pela Nelson e disponibilizados ao mercado brasileiro ao longo desses anos todos, tanto em termos de capacidades operacionais quanto em características estruturais.

Originalmente, nos primeiros pivôs instalados no Brasil, com produtos Nelson e comercializados pela Carborundum em seus sistemas mecanizados, foram instalados os reguladores de pressão modelos Low Flow (azul e cinza), High Flow (azul e preto) e Red Top (regulador robusto), com chapa em com cromo e latão, para águas residuárias, com diferentes opções de conexão com os emissores.



Figura 78. Reguladores de pressão da Nelson.

As primeiras unidades vieram com adaptações de rosca fêmea em 3/4", tanto na entrada quanto na saída dos reguladores. Os emissores que se conectavam a esses reguladores eram do tipo spray fixo ou sprayhead e os rotativos com placas giratórias de quatro ou seis ranhuras, das séries R30 e R300 com bocais metálicos 3RN.

Logo em seguida, a Nelson disponibilizou ao mercado um tipo de conexão fêmea de 3/4" na entrada e rosca quadrada na saída dos reguladores as quais se adaptavam aos modelos de conexões rosca quadrada dos emissores. Este tipo de conexão, minimizava e ainda minimiza problemas de campo em que é comum se instalar os reguladores de pressão de maneira invertida, se por algum acaso forem retirados dos equipamentos e reinstalados.

Os modelos de reguladores de pressão disponibilizados no momento aos pivôs e lineares, são os que seguem:

(i) Regulador Uni-Flo (Figura 79): Fabricados em configurações de rosca fêmea de $\frac{3}{4}$ " (FNPT) na entrada e de rosca fêmea $\frac{3}{4}$ " (FNPT) ou quadrada na saída, com pressões variando de 4, 7, 10.5, 14, 17.5, 21, 28 e 35 mca (6, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 psi) de regulagem. Vazões permitidas dentro da faixa de regulagem de 0,11 a 2,72 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$.



Figura 79. Regulador Uni-Flo da Nelson.

(ii) Regulador Hi-Flo (Figura 80): Fabricados em configurações de rosca fêmea de $\frac{3}{4}$ " (FNPT) na entrada e de rosca fêmea $\frac{3}{4}$ " (FNPT) ou quadrada na saída, com pressões variando de 4, 7, 10.5, 14, 17.5, 21, 28 e 35 mca (4, 10, 15, 20, 25, 40 e 50 psi) de regulagem. Vazões permitidas dentro da faixa de regulagem de 0,45 a 4,54 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$.



Figura 80. Regulador Hi-Flo da Nelson.

(iii) Regulador All-Flo (Figura 81): Lançados ao mercado no ano de 2020, são fabricados em configurações de rosca fêmea de $\frac{3}{4}$ " (FNPT) na entrada e de rosca fêmea $\frac{3}{4}$ " (FNPT) ou quadrada na saída, com pressões variando de 4, 7, 10.5, 14, 17.5, 21, 28 e 35 mca (6, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 psi) de regulagem. Este modelo de regulador apresenta uma área 52% maior que outros reguladores existentes no mercado, minimizando problemas de entupimento. Vazões permitidas dentro da faixa de regulagem de 0,11 a 4,54 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$.



Figura 81. Regulador All-Flo da Nelson.

4.2.4 Komet Innovative Irrigation

Uma terceira empresa a atender o mercado brasileiro é a Komet Innovative (Sede em Lienz, Áustria), porém até este momento sem uma estrutura física no país e com uma gama pequena de produtos sendo ofertados, apesar de ter em seu portfólio uma gama maior do que está sendo apresentada ao mercado brasileiro.

Compõe-se de um aspersor oscilante, modelo Twister para trabalhar de maneira invertida em tubos pendurais (*Komet precision Twister-KPT*) com placas defletoras preta, azul e amarela; um modelo do mesmo aspersor para trabalhar sobre a parte aérea do equipamento (*Komet precision twister-Peak*) com placa defletora branca; um modelo de aspersor fixo (*Komet precision spray-KPS círculo total*), com placas azul, preta, cinza, amarela, mini defletor preto e mini defletor turquesa); um modelo de aspersor (*Komet precision Spray PC180°*) com placa azul; um modelo de aspersor final de pivô (*Twin Master*) e um modelo de regulador de pressão (*All-Flo, KPR*), com diferentes pressões de regulagem, indo de 4 a 14 mca (6 a 20 psi), dependendo do projeto ou do emissor utilizado. Há também diferentes quantidades de ranhuras em função do tipo de placa defletora.

Bocais disponíveis

A composição de bocais disponíveis aos emissores Komet, seguem o padrão de identificação da indústria, coloridos para fácil identificação e são baseados em incrementos de 128 centésimos de polegada. A identificação dos números pares é feita pelo número e por

uma ponta cheia, de alavanca de bloqueio ao passo que os ímpares têm uma ponta dentada, de alavanca de bloqueio. A gama de bocais é do #8 ao #52, com números inteiros e intermediários.

Emissor Komet precision twister (Figura 82)

Emissores (KPT) que atendem à gama de bocais de números #10 ao #52, incluindo os intermediários. Há três tipos de placas defletoras para instalação em tubos pendurais, sendo uma preta com ângulo de trajetória padrão, uma azul com ângulo baixo e uma terceira amarela com ângulo ultrabaixo e mais uma placa branca para instalação sobre a tubulação aérea do pivô. Pressão de trabalho de 4 a 14 mca (6 a 20 psi).



Figura 82. Emissor KPT da Komet.

Emissor Komet precision twister círculo parcial (Figura 83)

Recém lançado ao mercado, são emissores (KPT -180° part circle) desenhados para atender às condições de trilha seca em pivôs centrais e lineares e devem ser instalados em tubos pendurais rígidos. Com a mesma gama de bocais dos emissores giro total, ou seja, que atendem à gama de bocais de números #14 ao #52, incluindo os intermediários. Apresenta placa defletora Cinza e pressões de trabalho de 4 a 14 mca (6 a 20 psi).



Figura 83. Emissor KPT 180° Komet.

Emissor Komet precision spray (Figura 84)

Emissores (KPS) que atendem à gama de bocais de números #8 ao #52, incluindo os intermediários. Há seis tipos de placas defletoras, de coloração azul côncava, preta plana, cinza plana e amarela plana, ou do tipo mini defletor Preto plano e turquesa plana, cuja definição vai de encontro às necessidades específicas. Como opção de círculo parcial há o modelo de placa azul côncava de 180°. As pressões de trabalho são de 4 a 14 mca (6 a 20 psi), para todos os modelos.



Figura 84. Emissor KPS da Komet.

Emissores canhão para final de sistema

A **Komet Innovative**, tem disponibilizado ao Brasil, já há algum tempo, (originalmente via Irrigaplan), com importações feitas diretamente pelas empresas fabricantes de sistemas Pivô Central e Linear, basicamente um modelo de emissor canhão para atender o mercado de sistemas mecanizados e estão instalados em várias regiões do país. Trata-se, basicamente, do modelo Komet Twin Max.

Aspersor Komet *Twin Max* (Figura 85): disponível em vazões de 5,4 a 56,4 m³ h⁻¹ e pressões de 20 a 65 mca (28 a 92 psi). Ângulo de trajetória de 18° ou 24°, com 12 opções de bocais para atender às exigências de cada projeto.



Figura 85. Emissor canhão Innovative da Komet.

Reguladores de pressão

Para atender aos projetos de sistemas de irrigação pivô central e linear, mantendo as pressões nas entradas de cada aspersor ao longo do comprimento da linha lateral do equipamento, a Komet Innovative apresenta um regulador de pressão, denominado de **Komet Precision Regulator (KPR)**

Regulador Komet precision regulator (KPR) (Figura 86). Regulador de pressão denominado de All-Flo e disponível na faixa de vazão que atende a toda gama de bocais do #8 ao #52 e pressões de 4, 7, 10,5 e 14 mca (6, 10, 15 e 20 psi). Fabricados em configurações de rosca fêmea de 3/4" (FNPT) na entrada e de rosca fêmea 3/4" (FNPT).



Figura 86. Regulador de pressão da Komet.

4.3 Considerações finais

Ao se elaborar um projeto de irrigação deve-se levar em consideração uma série de fatores que implicarão diretamente no resultado final: alguns deles de caráter local (clima, solo, topografia, cultura), outros em função do usuário (tipo de cliente, nível de conhecimento da técnica irrigação, experiência e administração, mão de obra disponível, tecnologias empregadas na propriedade), outros ainda de caráter econômico (disponibilidade de recursos e capacidade de pagamento), etc. Dessa maneira, é impossível dizer que um sistema de irrigação é melhor que outro, e sim deve-se avaliar qual é a melhor tecnologia a ser empregada em cada projeto específico.

O que podemos dizer sobre os sistemas mecanizados de irrigação com movimento contínuo radial, o pivô central, e linear, o lateral móvel, é que a indústria de equipamentos de irrigação no Brasil conseguiu, nesses anos todos, evoluir de maneira substancial quanto ao uso de emissores e de reguladores de pressão, voltados à melhoria na eficiência de uso do insumo água com economia de energia e mão de obra sem deixar nada a desejar a qualquer sistema de irrigação.

Evoluiu desde os emissores do tipo impacto aos do tipo spray, seguido dos tipos oscilantes e dos rotativos atualmente utilizados e operando com pressões baixas e mantendo o raio de alcance dos jatos amplo, reduzindo assim a intensidade de precipitação instantânea. Estes últimos (oscilantes e bem mais os rotativos) permitem que a água seja mantida na zona radicular das plantas, minimizando os efeitos de perdas por deriva, escoamento superficial e percolação profunda, elevando sobremaneira a eficiência no uso da água, que é o que realmente interessa à irrigação das culturas.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço imensamente ao convite feito pelos organizadores do livro "Diferentes abordagens sobre a agricultura irrigada no Brasil", pela oportunidade de escrever

um de seus capítulos. Dessa maneira, como um dos que puderam presenciar toda a evolução dos dispositivos responsáveis pela distribuição de água e ajustes nas pressões dos equipamentos pivô central e linear, creio que pude, de alguma forma, contribuir com um pouco da história sobre a evolução dos emissores e reguladores de pressão no Brasil. Estes dispositivos, tem sentido uma enorme evolução desde as primeiras unidades instaladas até o momento atual.

Em segundo lugar, deixo meu agradecimento especial a algumas pessoas ligadas ao mercado de irrigação, com as quais tive o privilégio de conviver e, neste trabalho, consultar e ser atendido, ajudando a elucidar alguns pontos sobre os fatos ocorridos desde o ano de 1978, por terem vivenciado o desenvolvimento das tecnologias dos emissores e reguladores de pressão utilizados nos equipamentos fabricados por cada uma das empresas citadas neste artigo (em ordem alfabética: Antonio Alfredo Teixeira Mendes; Carlos Barth; Carlos Fernando Vinicius; Cezar Neitzke; Egídio Osti Neto; Eugênio Brunheroto; Gustavo Hossri; José Roberto Rossi; Leandro Amorim; Marco Moretti; Paulo Arruda; Petronio Pereira; Renato Simões Barroso Junior e Wilson Roma). Algumas dessas pessoas continuam até hoje na indústria de equipamentos, alguns mais recentemente, porém dentro da indústria e dando continuidade ao desenvolvimento de novas tecnologias a serviço da melhora na eficiência do uso do insumo água.

Referências

KOMET. **Catálogo técnico**. 2021. Disponível em: https://www.kometirrigation.com/wp-content/uploads/2020/07/Catalog-Komet-Twin-Ultra-PT_FR_A4-Rif.-243.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

NELSON. **Catálogo técnico**. 2021. Disponível em: <https://pdf.agriexpo.online/pt/pdf/nelson-irrigation-corporation-173873.html>. Acesso em: 12 abr. 2021.

SENNINGER, **Catálogo técnico**. 2021. Disponível em: <https://www.senninger.com/pt/catalogos>. Acesso em: 12 abr. 2021.

TOMAZELA, C. Fotos, catálogos e folders de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação. Arquivo pessoal, desde 1978.

CAPÍTULO 5

5 HISTÓRICOS, RELATOS E REFLEXÕES PESSOAIS SOBRE O BRASIL COMO PAÍS MEMBRO DA ICID

Helvécio Mattana Saturnino

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo prestar um depoimento sobre a *International Commission on Irrigation and Drainage* (Icid) na qualidade de presidente da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (Abid), destacando a participação do ex-ministro Alysso Paolinelli.

5.1 Introdução

O professor e ex-ministro Alysso Paolinelli, sempre com suas marcantes cooperações e invejável disposição para estar em todas as frentes, principalmente àquelas que têm o condão para virtuosos empreendedorisos nos agronegócios, com diversas participações na retomada da Abid, tem sido um permanente estimulador desse interminável trabalho, já por mais de duas décadas. Diante essa realidade, alguns fatos e acontecimentos serão relatados, ilustrando a participação do ex-ministro nessas relações internacionais.

5.2 Histórico e relatos pessoais sobre o início da relação do Brasil com a Icid

Na sequência das itinerantes parcerias anuais da Abid pelo Brasil, em 2006, com Goiás, após a apresentação do então presidente da Icid, o engenheiro inglês Peter Lee, no XVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (XVI Conird), evento que faz parte de cada itinerante parceria anual da Abid, o professor Alysso, na coordenação dos debates, questionou o presidente da Icid sobre as dificuldades impostas por países desenvolvidos, que criam barreiras de todas as ordens para os produtos do Brasil. Peter Lee, ao agradecer pela oportuna pergunta, explicou que um dos caminhos para ajudar a superar esses óbices poderia ser maior participação do Brasil na Icid, justamente para promover e fortalecer realizações de grupos internacionais de trabalho, fazer debates com o concurso de agências, a exemplo do Banco Mundial, entre tantas outras com que a Icid mantém vínculos e articulações, para tratar dessas inaceitáveis distorções de mercado. Entre o amplo leque de atividades da Icid, Peter Lee destacou que tratar dos negócios com base na agricultura irrigada, com uma holística visão do setor, era muito desejável e pertinente, sempre a requerer iniciativas de países como o Brasil que, com sua relevância mundial nos agronegócios, deveria se fazer mais presente, inclusive para poder galgar posições no corpo diretivo da Icid e melhor influenciar nas agendas de trabalhos da mesma.

5.3 *International Commission on Irrigation and Drainage (Icid)*

A Icid é uma organização não oficial, formada por chefes dos serviços de irrigação de todos os Estados da Índia que, ao sentir as limitações e dificuldades de acessar o universo de conhecimentos, de tratar de intercâmbios internacionais sobre o desenvolvimento dos negócios com base na agricultura irrigada, da gestão dos recursos hídricos, estava inquieta e procurando formas de melhor equacionar essas cruciais limitações. Essa foi a inspiração para

criação dessa organização internacional, da qual o Brasil é um membro fundador. Nesse histórico, os membros desse Conselho Central de Irrigação e Energia (CBIP) propuseram ao governo da Índia criar uma instituição internacional para o desenvolvimento da ciência e técnica da irrigação em todo o mundo. Além do apoio a essa iniciativa, propuseram que o governo da Índia convidasse os governos de outros países a cooperar com eles na criação de uma organização internacional, não governamental. Houve uma pronta receptividade para essa proposição por parte do governo da Índia.

Assim, a Comissão Internacional de Irrigação e Canais foi formada em 24 de junho de 1950, com seu Secretariado em Nova Deli, Índia, como fruto de uma reunião realizada em Simla, na Índia, com Brasil, Egito, Índia, Indonésia, Itália, Holanda, Sérvia (ex-Iugoslávia), Sri Lanka, Suíça, Tailândia e Turquia como membros fundadores da Icid. Foi adotada uma constituição provisória, aprimorada na primeira reunião do Conselho Executivo Internacional da Comissão, realizada em Nova Deli, em janeiro de 1951, e o nome foi mudado para Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem. Em sua 8ª reunião, realizada em abril de 1957, o âmbito da Comissão foi ampliado ao incluir nas suas funções o tema do controle de cheias e gestão fluvial.

Com essa sábia decisão do governo da Índia de articular, apoiar e investir na criação e no funcionamento da Icid, tanto a Índia como outros países passaram a organizar e acessar o que estava em curso mundo afora, com muitos entrosamentos e, anualmente, a realização de ricas programações e de organizadas visitas, sempre incluindo exemplos de empreendedorismos na agricultura irrigada no país sede do encontro anual da Icid, bem como de diversas outras iniciativas para fortalecer o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada.

5.4 Históricos, relatos e reflexões pessoais sobre a relação entre Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (Abid) e a *International Commission on Irrigation and Drainage (Icid)*

Haviam vários desafios desde a época da virada do milênio, como a gestão integrada de bacias hidrográficas, principalmente com o fomento em favor do Sistema Plantio Direto para os trópicos, foco maior nos Cerrados, e a agricultura irrigada, uma das componentes sempre a exigir uma atenção especial.

O estado da arte das políticas para o setor, com a extinção do Ministério Extraordinário da Irrigação e outras medidas, havia colocado a irrigação como um pequeno apêndice em algum setor do governo federal, sempre como um lembrete, mas sem o arcabouço para dar suporte a uma política nacional, para fazer acontecer os devidos alcances socioeconômicos proporcionados pelo desenvolvimento dos negócios com base na agricultura irrigada, incluindo o aproveitamento dos intercâmbios internacionais.

Ao final da década de 1990, em trabalhos de assessoramento à Secretaria de Recursos Hídricos, do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA), junto ao secretário Paulo Afonso Romano e equipe de dirigentes, entre estes Fernando Antônio Rodriguez, conhecedor do histórico Abid/Icid, participei de um grupo constituído e liderado pelo próprio Fernando Rodriguez, juntamente com o professor Antônio Alves Soares, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e o pesquisador Ricardo Brito, da Embrapa Milho e Sorgo, em um encontro anual da Icid, na Indonésia. Tivemos que fazer um especial esforço para estarmos lá, iniciarmos com os contatos mais prementes e os acertos que se faziam necessários e tomarmos o maior conhecimento possível do grande universo de atuação da Icid, com suas diversas interfaces. E valeu a pena ter feito isso, pois deu para sentir de perto, com a demonstração da Icid de já estar aglutinando países que representavam mais de noventa por cento da área irrigada do mundo. O mais impressionante, com grandes delegações de países da Ásia, pude sentir de perto o que nos falta, que é a "cultura" da agricultura irrigada, presente nesses países.

Cabe mencionar que o alto interesse do Nobel da Paz (Dr. Norman Borlaug) pelo desenvolvimento do Sistema Plantio Direto nos Cerrados nos aproximou e, na última estada dele no Brasil, tive a oportunidade de comentar o nosso envolvimento, também, com a retomada da Abid, juntando forças com a Associação de Plantio Direto nos Cerrados (APDC), pois os sinergismos e complementaridades entre o Sistema de Plantio Direto e a irrigação e drenagem eram muitos animadores. Ele, sempre muito atencioso e afável, comentou:

Em todas as visitas ao Brasil, em diversas entrevistas, reuniões, etc., festejam muito as variedades que criamos, mas nunca me perguntaram como matamos a fome na Ásia. Àquela chamada Revolução Verde foi realizada graças à irrigação, com todos os produtores envolvidos, a maioria construindo precários poços para captar a água pois, sem isso, não havia como aproveitar o potencial produtivo das novas variedades. Ele comentou sobre a determinação dos produtores fazendo os poços para a irrigação, a baixa qualidade dos mesmos e as dificuldades enfrentadas. Estranho isso no Brasil, finalizou ele, mas não me lembro de ter sido questionado sobre irrigação. Sem ela, não teríamos a produção para eliminar a fome que ameaçava de morte toda aquela população¹ (informação verbal).

O fato de o governo brasileiro ter desativado as políticas em curso, bem como ter provocado muitos desestímulos, fez com que houvesse interrupções nos relacionamentos com a Icid, incluindo-se nisso a completa falta das devidas atenções do governo brasileiro para com esse compromisso internacional do Brasil. Nos históricos, o Ministério do Interior, sucedido pelo Ministério da Integração Nacional (MI), agora Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), responsáveis pelos pagamentos das anuidades do Brasil, incluindo-se aí, direta ou indiretamente, naturais desdobramentos, como o de lograr efetivas participações na Icid, ficou muito prejudicado. A falta de definições e de políticas do governo em prol da agricultura irrigada, eram questionadas pela Icid nesses relacionamentos internacionais, cujas agendas, na maioria das vezes, eram fruto de naturais demandas por políticas públicas, mundo afora.

Nessa época, mediante os interesses pela implementação do Sistema Plantio Direto nos Cerrados, bem como pela retomada da Abid, o então presidente da Embrapa, Alberto Duque Portugal, e o secretário Paulo Romano (SRH/MMA) pactuaram para que pudéssemos atuar junto a essas duas organizações, seja com trabalhos voltados para o Sistema Plantio Direto, seja para a agricultura irrigada, bem como na conjugação dos dois, contando também com o apoio do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), da Embrapa Café e de programas de fruticultura irrigada, entre outros. Isso proporcionou estratégicos envolvimento, apoios e parcerias dessas instituições, bem como maiores facilidades de contatos com o setor público, especialmente em Brasília, desde a época de criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Dado os sinergismos, complementaridades e oportunidades dos trabalhos em prol de uma agricultura mais sustentável e próspera, os interesses dos setores públicos e privados facilitaram muitos entendimentos. Dentre estes o de evoluir nos acertos com a Icid, incluindo participações em seus encontros anuais, o que redundou em vários entendimentos. Um deles foi o de lograr a presença de presidentes da Icid e de outros dirigentes, como de Comitês Nacionais de outros países, a exemplo do da China, tendo-os conosco no Conird ou em outras oportunidades de intercâmbios no Brasil.

Nesse histórico de fundação da Icid está a presença do Brasil, seguida de uma série de articulações para o Brasil se tornar um país membro da Icid, incluindo as providências para o

¹ Comentário - Dr. Norman Borlaug.

governo brasileiro fazer a sua contribuição anual para a Icid. Na época, com o concurso do Ministério do Interior, por meio do Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola (Geida), juntamente com a embaixada do Brasil na Índia, especialmente ao longo de 1969, foi formalizada a participação do Brasil como país membro da Icid, a partir de 1970.

Naquela época, com associados da Abid ligados às mais diversas instituições públicas, o Comitê Nacional Brasileiro da Icid contava, direta e indiretamente, com o apoio do governo para a Abid estar mais presente junto a Icid. Mas, além de crescentes necessidades internas, como realizações do Conird, realizações de cursos, produção de materiais didáticos, edição da revista Item, bem como outras atividades internacionais, a Abid aumentou suas despesas, por atuar, também, em prontos atendimentos de demandas de apoiadores do governo. Diante esse quadro, especialmente na década de 1990, com o governo paralisando políticas em favor da agricultura irrigada, afloraram muitas dificuldades, como a completa paralisação da Abid.

Assim, ao ensejo da virada do milênio, com todas as reflexões, do local ao internacional, despertou-se, mais ainda, sobre a importância de o Brasil se organizar para melhor conhecer e aproveitar suas potencialidades, as pesquisas e estudos. Os organismos existentes, setores públicos e privados, juntarem forças para melhor impulsionar o agronegócio da agricultura irrigada, atuarem com todos os agentes dessas cadeias produtivas e comerciais, perseguindo uma ampla integração científica, tecnológica, mercantil, ambiental em favor da gestão integrada das bacias hidrográficas, tendo a água como um vetor para gerar riquezas e postos de trabalhos, com o fomento da agricultura irrigada para atender a toda gama de produtores interessada em empreender no setor.

Em linhas gerais, com todos os requisitos existentes para lograr prósperos negócios, atentando-se para os bons exemplos e as boas práticas, foi tomada a decisão de trabalhar na retomada da Abid, o que tem sido uma constante desde então, sempre a exigir mais e mais participações, para que haja condições de abraçar e promover o aproveitamento de um infindável leque de desafiantes empreendedorisismos e um fantástico potencial a ser devidamente entendido e aproveitado, para que os resultados socioeconômicos, com os atendimentos dos mercados internos e externos, sejam cada vez melhores para beneficiar toda a sociedade.

Vale destacar que, em 2019, por ocasião da celebração dos 70 anos da fundação da Icid, em Nova Deli, a direção da Icid convidou o embaixador do Brasil na Índia, André Aranha Corrêa do Lago, para participar desse evento e fazer um pronunciamento sobre o relacionamento Brasil - Icid. A equipe da Embaixada, por intermédio do Pedro Ivo Ferraz da Silva "*Head of The Energy, Environment and Science, Technology and Innovation Section*", mediante indicação da Secretaria Geral da Icid, entrou em contato comigo.

Pedro Ivo queria informações para subsidiar a participação do embaixador brasileiro, em 24 de junho de 2019, na solenidade na sede da Icid, em Nova Deli. Ao comunicar a ele que a Embaixada do Brasil na Índia, com o concurso dos embaixadores Renato Mendonça e Wladimir Murтинho, após entendimentos governamentais, havia formalizado a decisão do governo de propor a entrada do Brasil como país membro da Icid, o que se materializou em 1970, ele se motivou, mais ainda.

Essa decisão do governo brasileiro propiciou, desde 1969, iniciar com o pagamento das anuidades do Brasil, bem como os investimentos nas participações brasileiras nos itinerantes eventos anuais da Icid, com entrosamentos que foram propiciando aos brasileiros aproveitarem dessa organização internacional, incluindo desde a ocupação de cargos de direção na estrutura da Icid, até a organização de eventos da Icid no Brasil. Mas diante à paralisação por parte do governo brasileiro, todos esses avanços sofreram interrupções. Assim, tínhamos que explicar o processo de retomada da Abid, que estava em curso desde o final da década de 1990. Para isso, lancei mão da ilustração que denominamos "a saga da agricultura irrigada", como um facilitador para mostrar esse histórico de retomada da Abid.

Para melhor elucidar o embaixador, destaquei o empenho dos dirigentes da Icid junto à presidência da Abid e aos organismos do governo brasileiro em superar óbices e retomar as atividades com o Brasil, seja para receber as anuidades, seja para contar com a presença de governantes e profissionais brasileiros atuando junto à Icid. Nessa linha, reiteradamente, eles sempre enfatizaram que, após o Brasil se tornar um país membro da Icid, em 1970, houve um pronto engajamento, o que permitiu ao Brasil ter sido distinguido como sede do "*41st IEC meeting and 14th Congress of Icid in the year 1990 at Rio de Janeiro, and the first Pan-American Regional Conference that was also held in Brazil, at Salvador, Bahia, in the year 1984*". Eles sempre apontam também que o Brasil logrou ter dois vice-presidentes da Icid: Jose Osvaldo Pontes (1982-1985) e Jader Fernandes de Carvalho (1986-1990).

Entendi como muito importante informar ao embaixador do Brasil na Índia, André Aranha Corrêa do Lago que, ao ensejo da virada do milênio, em 2001, em parceria anual da Abid com o governo do Ceará, com diversas atividades ao longo do ano, interlocuções interessantes, pois o governo do Ceará havia criado a Secretaria de Agricultura Irrigada, uma inovação, e estava em curso a retomada do Conird, Congresso Anual da Abid, no qual houve a participação do presidente da Icid, professor Bart Schultz, da Holanda, um destacado profissional, Ph.D., com rico histórico de atividades no *Editorial Team of The Irrigation and Drainage Journal*, conceituado periódico técnico científico da Icid. Para essa retomada do Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, com a realização do XI Conird, a Abid juntou-se com a Associação Brasileira de Engenharia Agrícola (Sbea), para a realização conjunta do *4th Inter-Regional Conference on Environment-Water (4th IRCEW)*, com o tema central para esses eventos sendo "O uso competitivo da água, a preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada". Esse esforço resultou na publicação de um livro e propiciou outros desdobramentos, como de interessantes projetos cooperativos internacionais.

Naquela oportunidade, o então ministro da Integração Nacional, Ramez Tebet, que aquiesceu ao nosso convite para estar conosco nesse evento, em Fortaleza, principalmente quando mostramos a ele o símbolo do ciclo hidrológico, para inspirar cada Conird, com dizeres para acompanhar as itinerantes parcerias anuais da Abid, ele ficou muito motivado. Com isso, contei com a atenção do ministro Ramez Tebet e logrei apresentá-lo ao presidente da Icid. Fiz referência à mensagem que ele havia feito e estava publicada na Revista Item 50 (SATURNINO, 2001), daquele evento, incluindo, com muita felicidade, escopos como os comungados pela Icid. Tudo indicava que iríamos pautar um virtuoso caminho, tendo a Abid como o Comitê Nacional Brasileiro da Icid e o ministro Ramez Tebet, mediante o convite do presidente da Icid para ele participar de um Encontro Anual da Icid e visitá-lo em Nova Deli, havia se mostrado muito interessado por essas articulações internacionais em prol da agricultura irrigada. Mas minhas expectativas foram frustradas, com uma efêmera passagem do Ramez Tebet como ministro do MI.

Houve a mudança de governo e o secretário Executivo do MI, Márcio Lacerda, inclusive acumulando a Presidência da Codevasf por um período, convidou-me para estar com ele, quando lançaram um arrojado trabalho, com um grande envolvimento de profissionais ligados à agricultura irrigada, de diversas instituições, mobilizando-os para realizarem o levantamento do estado da arte de todos os perímetros públicos de irrigação do Brasil. Ao longo dessas atividades, pude mostrar a ele que o Brasil tinha o compromisso internacional com a Icid, e estava inadimplente em cerca de US\$30000.00 (trinta mil dólares). Imediatamente ele me pediu a documentação e ordenou o pagamento, cujo trâmite interno no MI, que era o responsável pelo pagamento, passou a funcionar normalmente, até quando foi criada a Secretaria Nacional de Irrigação (Senir). Por coincidência, justamente nessa época de instalação da Senir, o governo havia centralizado todos os compromissos internacionais do

Brasil na Secretaria de Assuntos Internacionais do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (Seain), para serem continuados só após a aprovação desta.

O secretário de infraestrutura hídrica do MI, Ramon Rodrigues, participante e conhecedor do trabalho da Abid e desses trâmites burocráticos no MI, foi ser o primeiro secretário da Senir. Para atender a essas novas exigências, procurei o secretário da Seain. Por coincidência, estava lá o jovem e brilhante executivo Alexandre Meira da Rosa, como o secretário da Seain. Foi repassada toda documentação e os contatos na Icid. Foi confirmada a Abid como o Comitê Nacional Brasileiro da Icid. Essa ação procurou valorizar a agricultura irrigada no Brasil, bem como todo o seu potencial de explorar o relacionamento internacional.

O secretário Ramon Rodrigues, da Senir, com a aprovação e orientação da Seain, deu o parecer favorável para o MI pagar a anuidade cobrada pela Icid para o Comitê Nacional Brasileiro da Icid, a Abid. Os pagamentos foram feitos até àquela época. Mas a Senir, que teve 13 secretários em sua curta existência, interrompeu com os procedimentos para o MI pagar as anuidades do Brasil para a Icid, colocando o Brasil como inadimplente. Essa pendência continua no MDR. Com o grande interesse dos dirigentes da Icid por ter essa situação devidamente equacionada, os mesmos têm atuado em todas as oportunidades formalizando documentos, seja pelos canais diplomáticos, a exemplo dos com a Embaixada do Brasil na Índia, seja dirigindo-se diretamente aos ministros do MI e do Mapa, entre outras iniciativas.

Como já mencionado no início deste depoimento, em 2006, logramos ter o presidente da Icid, Peter Lee, atuando conosco. O governo de Goiás como parceiro da Abid naquele ano, como estado palco para visitas a exemplares empreendimentos nos Cerrados, com especial destaque para o município de Cristalina, direto concurso de seu sindicato rural, proporcionou uma excelente demonstração sobre a reservação das águas e o manejo da agricultura irrigada ao longo do ano. As estratégias de gestão das bacias hidrográficas e conservação dos recursos naturais para melhor regular o fluxo hídrico ao longo do ano e ter melhor oferta de água para a irrigação, foram evidenciadas e discutidas. Com essa organização daquele Conird houve uma ímpar oportunidade para o presidente da Icid conhecer e discutir, *in loco*, o empreendedorismo na agricultura irrigada nos Cerrados. Com o envolvimento de produtores, consultores, serviços de Ater, professores e estudantes da Universidade Federal de Goiás, de pesquisadores da Embrapa, e, com uma atuante comissão organizadora dos eventos, houve, também, a participação dos diversos organismos do governo de Goiás, de produtores e suas organizações, a exemplo da Federação da Agricultura do Estado de Goiás (Faeg), de Sindicatos Rurais, do Senar e Cooperativas.

Com isso, foram visitados os mais diferentes portes de empreendimentos, culturas perenes e temporárias, do café a hortaliças, com atenções para todas as fases de cada cadeia de negócios, incluindo-se também a pecuária bovina, com pastagens irrigadas, a integração lavoura e pecuária, com mais equilíbrio no aproveitamento dos sinergismos e complementaridades existente em cada caso. Para o planejamento e a gestão dos projetos de irrigação, tendo a disponibilidade de água, de energia elétrica e a capacidade de cada investidor, como pilares para iniciar a concepção de qualquer projeto, o presidente da Icid ficou muito impressionado com o dinamismo da agricultura irrigada nos Cerrados e os diversificados trabalhos em curso.

Com o envolvimento das empresas fornecedoras de equipamentos, insumos e serviços para a agricultura irrigada, foram dois dias de campo que encerraram os eventos, coroando-os com uma grande satisfação de todos os participantes. Ao final, foi anunciada a parceria da Abid com o Rio Grande do Norte em 2007, a realização do XVII Conird em Mossoró (RN) e, para 2008, foi anunciada a parceria da Abid com o governo do Espírito Santo. Isso ensejou o convite da Abid para o presidente Peter Lee participar do XVIII Conird, como conferencista da abertura e, se viável, ir a Brasília para atividades junto ao governo brasileiro.

Nessa época, o Brasil logrou um marcante feito na Icid. Em 2007, pelo mérito dos persistentes trabalhos dos primos Werner e Herbert Arns, na Fazenda Águas Claras, Uruguaiana (RS), com a conversão da irrigação por superfície em irrigação por aspersão, utilizando de pivôs centrais, eles dobraram a produção de arroz por m³ de água utilizado e estavam tendo condições, principalmente com a utilização dos fundamentos do Sistema Plantio Direto, de implementar uma melhor sequência de culturas ao longo do ano. Na qualidade de Comitê Nacional Brasileiro da Icid, a Abid, com a colaboração de vários profissionais, havia os candidatados para o *WatSave Award* de 2007, e eles foram proclamados vencedores dessa competição mundial na reunião anual da Icid, em Sacramento, na Califórnia. Naquele ano, em parceria da Abid com o Rio Grande do Norte, na abertura do XVII Conird, em Mossoró, compartilhei com todos a conquista desse pódio internacional pelo Brasil. O presidente da ANA, professor José Machado, presente na solenidade, celebrou dizendo que era a primeira vez que o Brasil ganhava uma distinção internacional pela economia na utilização da água. A governadora do Rio Grande do Sul, Yeda Crusius, posteriormente, com a presença dos produtores e vários convidados, em uma concorrida solenidade em Palácio, em Porto Alegre, juntamente com o presidente da Abid, o presidente da Csei/Abimaq e o secretário de Irrigação do RS, exibiu o prêmio *WatSave Award* 2007 para toda a plateia e, simbolicamente, o entregou ao Werner Arns, para homenageá-lo também como expressivo produtor e membro do Instituto Rio Grandense de Arroz (Irga), tradicionalmente com elevadas produções de arroz irrigado por superfície, o que fazia a realização dele muito mais expressiva. Assim, a governadora ressaltou o inovador trabalho dos agraciados, agradecendo-os, nos cumprimentou pela Abid ter promovido essa candidatura dos produtores gaúchos e a venceu. Fazendo uma especial distinção para todos, a governadora festejou esse feito internacional para a classe produtora, bem como para o Rio Grande do Sul e todo o Brasil.

Em 2008, em São Mateus (ES), o presidente da Icid, Peter Lee, como conferencista de abertura do XVIII Conird, ressaltou também a premiação dos produtores brasileiros com o *WatSave Award* 2007 em função da produtividade da água na cultura do arroz, assunto de interesse em todo o mundo. Com a participação da Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da Abimaq, entendimentos da direção da Abid com a Codevasf, em Brasília, após o XVIII Conird no Espírito Santo, foi realizado um seminário no auditório da Codevasf, em Brasília, com o presidente Peter Lee, da Icid, tendo feito uma ampla exposição sobre a Icid e as necessidades e oportunidades de maior participação do Brasil nesta instituição, sugerindo o fortalecimento do Comitê Nacional Brasileiro da Icid, constituído pela Abid. Para esse seminário, com apoio da Codevasf e da Abimaq, foram convidados a participar um amplo universo de instituições, a começar pela própria Codevasf, parceira na realização do evento, com amplos conhecimentos do universo de instituições e profissionais ligados ao mundo da agricultura irrigada, incluindo representantes da frente parlamentar da agropecuária, da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), da Embrapa, entre outros. Nesse "corpo a corpo", os esforços para motivar o governo a investir no desenvolvimento da agricultura irrigada, aproveitando-se, ao máximo, as potencialidades brasileiras, com articulações e continuados trabalhos em favor da difusão, capacitação e fortalecimento da "cultura" em torno da agricultura irrigada, para favorecer esses empreendedorismos, aproveitando-se junções de forças, a exemplo de trabalhos internacionais, como o da Icid.

Em 2012, o professor Gao Zhanyi, da China, como presidente da Icid, foi convidado para participar da *Rio + 20*, entrou em contato comigo para evoluirmos em entendimentos em prol da maior participação do governo brasileiro na Icid. Para isso, ele já havia promovido a vinda de uma grande delegação do Comitê Nacional Chinês da Icid para visitar o Brasil. Então, pedi-me para recebê-la em Brasília e realizar encontros e visitas ao campo. Àquela época, com uma grande delegação, composta de autoridades do governo da China, foi feita uma

extensa reunião com a Diretoria e técnicos da ANA, além de outros contatos. A maior curiosidade deles tanto nos contatos institucionais, como em visitas no campo, com perguntas diretas e indiretas, era a de entender, como um país com as condições brasileiras, relativamente, irrigava tão pouco. A área irrigada da China era maior que a do Brasil em mais que dez vezes. Esses assuntos, naturalmente, faziam parte das conversas com o presidente Gao Zhanyi, da Icid, enquanto seguíamos as programações da *Rio + 20*. Pretendíamos, também, procurar os ministros, como Fernando Bezerra, do MI e Mendes Ribeiro do Mapa, seguindo orientações de assessores internacionais dos mesmos para termos uma reunião com o presidente da Icid. Na prática, ficamos nas formalidades dos cumprimentos, pois os atropelos das agendas era uma constante. Nesses desencontros, pude contar com a especial atenção do presidente da Codevasf, Elmo Vaz, e com as facilidades do estande dele, para termos uma longa reunião com ele e três assessores, dando todas as atenções para o professor Gao Zhanyi, com quem já havia percorrido muitos estandes da *Rio + 20*, participado de eventos, ele ansioso para fazer perguntas. Gosto de chamar a Codevasf como a casa da agricultura irrigada, e fiz essa introdução para o presidente da Icid ao apresentá-lo ao Elmo e equipe. Com isso o professor Gao sentiu-se em casa, fez perguntas e logramos ter uma excelente reunião, intercalada com exposições da Codevasf.

Em 2014, em um *Side Meeting on Irrigation and Drainage in South America*, articulado junto ao Inovagri, em Fortaleza, o vice-presidente da Icid (professor Ragab), a vice-presidente honorária da Icid (Ms. Samia El-Guindy do Egito) e o ex-secretário-executivo da Icid (Suresh Kulkarni da Índia), com os reiterados interesses da direção da Icid, queriam achar caminhos para fortalecer bases na região e promover mais cooperações para a entrada e participações dos países da América do Sul nesse fórum internacional em favor da agricultura irrigada, constituído pela Icid. Um trabalho muito difícil, que contou com nosso apoio e apresentações. Os comparecimentos foram muito aquém das expectativas da Icid. O professor Ragab Ragab que, na qualidade de vice-presidente da Icid, havia juntado forças para promover aquele evento paralelo com foco na América do Sul, é o atual presidente da Icid.

Ao ensejo dos preparativos e da realização do 8º Fórum Mundial da Água, que aconteceu em Brasília, no período de 18 a 23 de março de 2018, a direção da Icid articulou vários entendimentos com a direção da Abid no sentido de representá-la, juntando forças e facilitando o atendimento às convocações e necessidades do 8th WWF. Nas edições 113 (SATURNINO, 2017a), 114 (SATURNINO, 2017b) e 115 (SATURNINO, 2017c) da Revista Item, em diversas parcerias, especialmente com o Ceará, foram evidenciadas muitas realizações conjuntas como do Inovagri Internacional Meeting, do XXVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (XXVI Conird) e do III Simpósio Brasileiro de Salinidade, com a integração do Instituto Inovagri, a Abib e a UFC, com o apoio do governo do Ceará e diversas instituições públicas e privadas, que propiciaram um especial apoio para o atendimento da Icid. Para participar desse trabalho, a Abid convidou e logrou-se contar com o professor da *James McGill University*, Canada, Dr. Chandra A. Madramootoo, presidente honorário da Icid, coordenador mundial, para tratar dos temas da Agricultura Irrigada no 8º Fórum Mundial da Água, que foi o conferencista de abertura desses eventos conjuntos.

Para aproveitar a estada do Chandra entre nós, foram realizadas duas oficinas, com detalhamentos sobre os trabalhos realizados pela Esalq/USP, sob a liderança do professor Durval Dourado Neto, que evidenciou o potencial de crescimento da agricultura irrigada no Brasil, bem como de um amplo leque de outros pertinentes temas. Nesse universo de interlocuções, ele pode discutir sobre as expectativas e as experiências passadas com o WWF, bem como fazer viagem específica para São Paulo e participar de um Seminário organizado pela Secretaria da Agricultura daquele estado. É interessante destacar que o professor Chandra foi Diretor de Agricultura e Meio Ambiente da *James McGill University* por dez anos.

Quando da realização do 8º Fórum Mundial da Água, o presidente da Icid (Dr. Felix Reinders, da África do Sul) e o secretário geral da Icid (Dr. Ashwin B. Pandya, da Índia), sabedores que eu só poderia estar em Brasília dois dias após a chegada deles, ao serem recebidos pela organização do Fórum, tomaram a iniciativa de tentar agendar uma reunião com quem representasse a política nacional de irrigação e drenagem no Brasil. Eles ficaram frustrados, pois os interlocutores, após diversas consultas, disseram a eles que não haviam identificado, em nenhum ministério, uma autoridade para recebê-los. Assim que nos encontramos, incrédulos, expliquei que a Secretaria Nacional de Irrigação (Senir), vinculada ao Ministério da Integração Nacional tinha sido extinta e, isso, certamente, teria sido a razão da resposta. Mas, durante o Fórum, mesmo sabendo da falta de uma política nacional para a agricultura irrigada, tentei mostrar, o máximo possível, inclusive com apresentações de ex-funcionários da Senir, bem como de várias organizações, entre elas a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), quando foi dito a eles que o presidente da CNA já havia proposto a transferência do comando da política nacional de irrigação para o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

5.5 Considerações finais

A agricultura irrigada é responsável por mais de 40% das colheitas mundiais e ocupa em torno de 18% da área com explorações agrícolas no globo terrestre. A irrigação gera empregos permanentes, propicia o uso dos fatores de produção ao longo do ano, é fundamental para a segurança alimentar da humanidade, diminui a pressão por abertura de novas áreas, facilita a constância da oferta qualitativa e quantitativa dos produtos e, como um dos benefícios mais relevantes, minora substancialmente o que há de mais perverso na agricultura, que é o seu grande risco, que pode comprometer desde o produtor até o abastecimento mundial, com graves perdas, pobreza e fome (SATURNINO, 2001)

Ao amalgamar o concurso de renomados profissionais estrangeiros para interagir com os brasileiros, esta programação enseja holísticas abordagens sobre o ciclo hidrológico e as demandas de água para utilização na agricultura irrigada. Na prática, como melhor intervir no ciclo hidrológico para otimizar as taxas de fotossíntese e a produção de fotoassimilados. Isso faz refletir sobre o alcance dos investimentos na reservação das águas, na conservação dos recursos naturais, na drenagem e na irrigação, ampliando o universo de compartilhamento das águas, para melhor atender aos seus múltiplos usuários. A gestão integrada das Bacias Hidrográficas em favor de maior oferta de água ao longo do ano, bem como sua racional utilização por todos os usuários, é pilar para que haja maior segurança hídrica, alimentar, energética, ambiental e, sobretudo, prosperidade, favorecendo bons empreendimentos. Além de produzir alimentos, fibras, biocombustíveis e outros bens, a agricultura irrigada também tem a virtude de comparecer como parceira do saneamento e da revitalização dos corpos d'água, com a racional utilização das águas servidas, com adequados projetos de reúso, devolvendo-as puras ao ciclo hidrológico, com geração de riquezas e postos de trabalho (SATURNINO, 2017a).

Os negócios proporcionados pela agricultura irrigada configuram-se atrativos, mas requerem mais e mais conhecimentos, planejamento e gestão. Eis aí um permanente desafio brasileiro! Graças à gestão dos conhecimentos e às boas práticas, exitosos exemplos de produtores e arranjos produtivos e comerciais em torno da agricultura irrigada já podem ser vistos pelo Brasil afora. Um País considerado como o de melhores condições edafoclimáticas, com vantagens comparativas perante o mundo para fazer multiplicar esses empreendimentos, mitigar o perverso risco agrícola e dar expressivos saltos em produtividade,

ainda irriga somente cerca de 10% do que a Índia ou a China irrigam, e cerca de 20% da área irrigada dos Estados Unidos. Com uma estimativa de cerca de 6,2 milhões de hectares, estudos indicam que o Brasil tem o potencial de multiplicar por dez essa área irrigada. Com sabedoria, isso pode significar geração de riquezas e postos de trabalhos, melhores atendimentos aos mercados interno e externo, com um virtuoso e equilibrado desenvolvimento. Mas isso requer capacitação de pessoas, com os devidos enfrentamentos, caso a caso, fazendo permear resultados de pesquisas, inovações e toda a gama de conhecimentos das diversas interfaces que o negócio da agricultura irrigada tanto almeja. As provocações, exemplos e inspirações que a história mundial da agricultura irrigada nos traz são decorrentes de aprendizados, frutos de erros e acertos, acompanhados de pesquisas, conhecimentos, planejamento e compromissos com a boa governança e a gestão, tanto no público como no privado” (SATURNINO, 2017b).

A água é vital na produção de alimentos e a agricultura irrigada, ao intensificar o uso dos fatores de produção ao longo do ano, fazendo cada vez mais com menos, tem um preponderante e crescente papel para melhor atender ao Brasil e às suas oportunidades nos mercados mundiais. Para os Fóruns Mundiais da Água, já realizados, sempre com grande destaque para o saneamento, cuja importância é indiscutível, fica oportuno enfatizar a agricultura irrigada como parceira do saneamento e revitalização dos corpos d’água, com a capacidade de utilizar águas servidas, incluindo as dos esgotos, depurando-as e devolvendo-as ao ciclo hidrológico, com geração de riquezas e empregos. Isso precisa ser devidamente considerado. Bacias Hidrográficas, a exemplo da do Rio São Francisco, que já atravessa décadas com decantadas iniciativas de revitalização, ao atentar para esses reúsos e aliar o rural ao urbano, bem como aos mais diversos empreendimentos que precisam ter seus dejetos devidamente depurados, têm todos os ingredientes para despertar interesses dos setores responsáveis pelo saneamento, que precisam atentar para esta oportunidade. Bons negócios, muita praticidade, um ganha-ganha, com edificantes desdobramentos” (SATURNINO, 2017c).

O trabalho da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (Abid) implica em muitas interfaces com diversos organismos do governo federal, bem como dos Estados, Distrito Federal e municípios, para que haja um pronto e harmonioso desenvolvimento, com crescentes atrativos para os investimentos do setor privado e estratégicos apoios do governo.

A Abid, que é o Comitê Nacional Brasileiro da Icid, e que tem perseguido a retomada de suas atividades, tem tido o desafio de fazer com que o governo brasileiro, que colocou o Brasil como país membro dessa instituição, abrace esse compromisso de intercâmbios e cooperações internacionais, aproveitando-os cada vez mais e melhor. Sabemos estar longe disso, e há um virtuoso e desafiador caminho a ser percorrido.

Em decorrência dessas implicações, o agronegócio brasileiro requer mais e mais participações e engajamentos dos organismos de governo, para que haja as devidas seguranças para empreender e aproveitar, com sabedoria, as inúmeras vantagens comparativas do Brasil perante o mundo.

Diante do exposto, fica clara a importância estratégica do Brasil ser país membro da Icid.

Referências

SATURNINO, H.M. Editorial: uma imperdível oportunidade. Brasília, **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.50. 2001.

SATURNINO, H.M. Editorial: muitos desafios e motivações advindos do Ceará. Brasília, **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.113. 2017a.

SATURNINO, H.M. Editorial: empreender em favor dos melhores negócios para um equilibrado desenvolvimento. Brasília, **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.114. 2017b.

SATURNINO, H.M. Editorial: uma oportunidade para edificantes avanços. Brasília, **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.115. 2017c.

Parte II

POLÍTICA

PÚBLICA

Parte II - POLÍTICA PÚBLICA

CAPÍTULO 6**6 A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA IRRIGADA COM BASE NOS ASPECTOS LEGAIS**

Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis

Resumo

Sobre os aspectos legalidade e sustentabilidade o Brasil torna-se o grande diferencial para o mundo, não somente em números de produção e produtividade, mas também por possuir uma legislação rígida e robusta, quando comparada a outros países. Esta condição, o coloca em destaque na produção internacional, trazendo a evidência a sustentabilidade social, econômica e ambiental conduzida no campo. A legislação brasileira, traz entre outros assuntos, informações e normas sobre o uso e ocupação do solo e da água, conservação da vegetação nativa e dos serviços ecossistêmicos, gestão de resíduos e dos recursos naturais, essenciais para a manutenção da sustentabilidade a longo prazo. Sobre este aspecto, a demanda mundial crescente por alimento, requer aumento na produção, produtividade e competitividade no mercado, e a expansão da agricultura irrigada vem como uma alternativa importante, quando pensada de maneira precisa, eficiente e integrada, tendo como premissa o uso equitativo e racional dos recursos hídricos em diferentes bacias hidrográficas, essencial para a manutenção produção a longo prazo e a sustentabilidade *lato sensu* nas diferentes atividades conduzidas no empreendimento rural.

6.1 Introdução

O Brasil vive um momento decisivo em políticas públicas, associado a mudanças de paradigmas em diferentes áreas, em especial nas ciências que tem refletido no atual sistema agrícola do país, trazendo maior eficiência, munindo o campo de inovação e transferência de tecnologia. Associado ao avanço conduzido em áreas rurais, a legislação brasileira, tem trazido ao longo dos anos a mais segurança jurídica, essencial a atividade rural, sem, contudo, deixar lacunas no que diz respeito a sustentabilidade conduzida nos sistemas produtivos.

6.2 A sustentabilidade da agricultura irrigada com base nos aspectos legais

Sobre os aspectos legalidade e sustentabilidade o país torna-se o grande diferencial para o mundo, não somente em números de produção e produtividade, mas também por possuir uma legislação rígida e robusta, quando comparada a outros países. Esta condição, ao longo dos anos, tem colocado o país em destaque na produção internacional, trazendo em evidência para as ações no campo, no que se refere principalmente a sustentabilidade social, econômica e ambiental, tendo estas como ferramentas prioritárias e essenciais para a manutenção e expansão da atividade em áreas rurais, associando a conservação e a utilização racional dos recursos naturais em diferentes regiões.

Entre os diversos avanços e tecnologia conduzidos em campo, o requisito legal traz lastro e segurança jurídica para o setor rural conforme previsto na Constituição da República Federativa do

Brasil de 1988, e na Lei Complementar 140 de 8 de dezembro de 2011, que fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Assim, o arcabouço legal (Federal, Estadual e Municipal) extenso e rígido tem lastreado todas as ações no empreendimento rural, não somente no que se refere ao cumprimento legal, mais principalmente com a adoção de boas práticas agrícolas tem promovido em curto, médio e longo prazo a sustentabilidade *lato sensu* nas diferentes atividades conduzidas no campo. O conjunto de legislação nacional, traz entre outros assuntos, informações e normas sobre o uso e ocupação do solo e da água, conservação da vegetação nativa e dos serviços ecossistêmicos, gestão de resíduos e dos recursos naturais, que juntos tem corroborado as incitativas e ações de inovação e tecnologia, conduzidas nos empreendimentos rurais em diferentes regiões no Brasil.

Seguindo a perspectiva de normativas sobre o uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos em áreas rurais, o marco regulatório brasileiro é eclético com diferentes vertentes, trazendo por vezes dificuldade de interpretações técnica e jurídica. Entre as normas nacional que também rege outras normativas, para os Estados e os municípios, essenciais para a condução da Agricultura Brasileira destaca-se: (i) A Lei Federal 6.938 de 31 de agosto de 1981 que dispõe entre outros fatores sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, por meio da criação de sistemas e entidades para articular e dar suporte institucional e técnico para a gestão ambiental no país, tornando mais efetiva a atuação do Estado; (ii) a Lei Federal 8.174, de 30 de janeiro de 1991 que dispõe sobre a Política Agrícola Brasileira; (iii) a Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (Política Nacional dos Recursos Hídricos) que estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH); (iv) a Lei Federal 11.284 de 2 de março de 2006 que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, entre outros aspectos; (v) a Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro) que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2020) entre outras ferramentas importantes para o ordenamento do imóvel rural, hoje essencial para demonstrar as áreas consolidadas e conservadas no empreendimento rural; e (vi) a Lei Federal 12.787, de 11 de janeiro de 2013 (Política Nacional de Irrigação), trouxe incentivos importantes para agricultura brasileira, com foco na produção irrigada, condição que fomenta o aumento da produção agrícola no país.

Complementar a legislação acima, é importante destacar que o Decreto Federal 24.643, de 10 de julho de 1934 (Código das Águas), trouxe o primeiro olhar para o uso da água no Brasil, principalmente levando-se em consideração a uma demanda à época por energia elétrica e equidade sobre o consumo da água, além de definir as competências em relação a águas públicas de uso comum, trazendo a fiscalização e o controle da utilização, garantindo a autonomia dos entes federativos e concessões de uso para diferentes atividades, incluindo a agricultura. Assim, esta norma vem lastreando ao longo dos anos a legislação de recursos hídricos no Brasil, principalmente pelo seu olhar amplo e visionário, uma vez que há época da sua publicação.

A Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012, fundamental para o ordenamento das atividades do imóvel rural no Brasil, traz instrumentos importantes para demonstrar as áreas consolidadas (abertas) e conservadas no empreendimento rural. Através do CAR, ferramenta trazida por esta legislação, o país dispõe de uma ferramenta *online* de acesso público, que traz uma análise sobre o uso e ocupação de terras no Brasil. De acordo com dados da Embrapa

(EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018) a atividade rural (lavoura, pastagens e florestas plantadas), o setor agropecuário, ocupa uma área de cerca de 30,2% do território brasileiro, e a partir dos dados do CAR, a pesquisa da Embrapa Territorial quantificou a dimensão territorial da contribuição dos produtores rurais brasileiros à preservação ambiental. De acordo com os resultados deste estudo, no interior dos imóveis rurais a preservação é em torno de 25,6 %, ou seja, 218 milhões de hectares, área que equivalente à superfície de 10 países da Europa; ainda, os resultados trazidos nesse estudos indicam que, quando os números da adesão ao CAR, acumulam as áreas Unidades de Conservação e outras áreas protegidas e preservadas tem-se um total de 66,3% de áreas preservadas e/ou conservadas no território brasileiro; as demais áreas mencionadas no estudo, equivalente a 3,5%, do território e são destinadas a infraestrutura em diferentes regiões do Brasil.

Corroborando com as informações da Embrapa, dados e informações a adesão ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), publicados (<http://www.car.gov.br/#/>), demonstram o número expressivo de áreas conservadas em diferentes regiões do Brasil, conforme previsão legal em Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal, incluindo os excedentes de vegetação nativa que podem ser destinadas a Cotas de Reserva Ambiental, Servidão Ambiental, entre outros atributos, essenciais para manutenção dos serviços ecossistêmicos. Neste sentido, além da adequação no que se refere a manutenção da vegetação nativa em seu imóvel, diferentes aspectos voltados à conservação, à gestão territorial, gestão dos recursos hídricos e eficiência no sistema produtivo tem sido busca constante do produtor rural para se atingir a sustentabilidade fundamental para a manutenção das diferentes atividades no empreendimento rural a longo prazo, que de maneira ampla vêm seguindo o lastro legal pela Lei Federal 6.938 de 31 de agosto de 1981 sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e suas regulamentações.

Desta maneira, as atividades conduzidas em áreas rurais no Brasil, ao longo dos anos, têm demonstrado um papel estratégico para elevação da qualidade ambiental em diferentes regiões, associando a sustentabilidade conduzida no campo, ao desenvolvimento econômico, contribuindo com a geração de emprego e renda, reduzindo as desigualdades, e de maneira ampla contribuindo para ampliar a segurança alimentar. Assim, sem dúvida, o setor agropecuário vem demonstrando, que o cumprimento legal associado a números expressivos de produção é imprescindível para a manutenção do equilíbrio da balança comercial do país e, conseqüentemente, para a estabilidade econômica brasileira.

O agronegócio é responsável por grande parte da economia do país, com números expressivos para o Produto Interno Bruto (PIB) e exportações, através da produção de diversos tipos de matérias-primas, conduzindo e representando diferentes setores da economia brasileira em diferentes escalas. Conforme dados da Conab (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020), na safra 2020/2021 a produção de grãos no país chegará a 265,9 milhões de toneladas, 3,5% superior à safra 2019/2020, sendo as áreas localizadas no Cerrado sua maior extensão, contribuição que vem colocando o Brasil como um dos maiores produtores de grãos do mundo.

É importante destacar que o aumento de produtividade associada à conservação de grandes remanescentes de vegetação nativa conforme previsão legal, deve-se principalmente à adoção de novas tecnologias que possibilitam a produção cada vez mais eficiente com diminuição de impactos e pressões sobre os recursos naturais. Assim, a intensificação produtiva em áreas rurais, tem sido promovida por meio de conhecimento, inovações e tecnologias agrícolas que aumentam rentabilidade e minimizam impactos ambientais.

O levantamento recente conduzido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), trouxe informações

estratégicas para o planejamento do uso da água e o aperfeiçoamento de políticas agrícolas no país (entre 2013 e 2017), considerando diferentes aspectos incluindo risco produtivo, *deficits* hídricos, principais culturas em campo, na condução da agricultura de sequeiro sobre o ponto de vista regional. De acordo com dados deste trabalho, agricultura de sequeiro, que ocupa mais de 90% da área agrícola do país, poderia ser mais produtiva, não fosse o *deficit* hídrico anual de 37%, uma vez esta maneira de condução do plantio depende totalmente das chuvas e da água armazenada no solo, a qual está diretamente ligada ao manejo e a conservação deste. Colaborando com esta afirmativa, Mantovani *et al.* (2020b) destacam que na agricultura tropical os ciclos de produção são definidos pela disponibilidade hídrica, onde o processo de produção está acoplado a ocorrência das chuvas, que nem sempre ocorrem no momento e na quantidade certa.

Neste contexto, a agricultura irrigada vem como uma importante alternativa para o aumento de produção em áreas consolidadas no Brasil, reduzindo a pressão sobre a abertura de novas áreas, em regiões onde há disponibilidade de hídrica superficial e subterrânea. Ricci (2010) já destacava que a ampliação das áreas irrigadas é potencial redutora das pressões sobre a fronteira agrícola e os dados relativos ao aumento da produtividade, fundamentado na aplicação da irrigação, demonstra a necessidade de desenvolvimento e inserção efetiva de novas tecnologias no setor, tendo como objetivo a sustentabilidade dos recursos hídricos. Esta afirmativa também é corroborada com Salassier (2008) que descreve entre outros aspectos, que a irrigação possibilita altas produtividades e produtos de boa qualidade, e que a água utilizada em cada cultura, deve estar relacionada a espécie cultivada, estágio de desenvolvimento, tipo de solo e época de plantio. As afirmativas demonstram que o debate sobre a ampliação da agricultura irrigada é cada vez mais real e atual, tendo como premissa a autorização do uso da água, o uso racional da água, utilização de tecnologias cada vez mais eficientes, a fim de atender a especificidade de cada cultura diminuído e equalizado a utilização dos recursos hídricos, seguindo as normas trazidas pela Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que é a Política Nacional dos Recursos Hídricos, e regulamentos específicos.

Seguindo esta perspectiva, diferentes autores destacam que o setor agrícola, ainda com demanda crescente de produção, é o maior demandante de água, fazendo referência a condução da irrigação aplicada em campo. Contudo, a elevação da produtividade e da competitividade no mercado, tem demonstrando que a expansão da agricultura irrigada vem como uma alternativa importante, quando pensada de maneira precisa, eficiente e integrada, tendo como premissa o uso equitativo e racional dos recursos hídricos em diferentes bacias hidrográficas do Brasil, essencial para a manutenção produção a longo prazo. Mantovani *et al.* (2020b) descrevem que a agricultura irrigada se coloca como uma opção importante para intensificar a produção e ampliar a produtividade de uma determinada área, associando a capacidade de investimento, disponibilidade de energia e principalmente da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, fazendo referência a importância da gestão, integração de informações e o monitoramento.

De acordo com Cavalcante (2020) a agricultura irrigada, principalmente em regiões com *deficit* hídrico, tem papel fundamental para o crescimento da produtividade, no desenvolvimento agrícola e socioeconômico, proporcionando o desenvolvimento de grandes polos de agronegócios no Brasil.

Corroborando com as ações afirmativas sobre a importância da agricultura irrigada Brasileira, em 2019 o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) propôs uma reconfiguração para a condução da Política Nacional de Irrigação, de modo a fazer com que a política pública alcançasse também os agricultores irrigantes em áreas privadas. Esta reconfiguração redirecionou o foco da Política Nacional de Irrigação, que passou a atender não só as demandas dos projetos públicos de irrigação, mas também das áreas de irrigação privadas, instituindo assim os Polos de Agricultura Irrigada, tendo como foco levantamento de

necessidades e melhoras contínuas, inclusive com investimentos regionais. Hoje o Brasil dispõe Polos de Agricultura Irrigada nos estados do Rio Grande do Sul, Goiás, Bahia e Mato Grosso, totalizando uma área irrigada superior a 650 mil hectares conforme dados de Leite *et al.* (2020). Assim, a implementação dos Polos de Irrigação do Brasil, vem de encontro a demanda urgente e crescente por produção e aumento de produtividade de alimentos, onde o debate e o fortalecimento de ações estruturantes para vem corroborar as ações conduzidas nas diferentes regiões, minimizando inclusive os efeitos das restrições climáticas.

De acordo com estudos conduzidos pela Agência FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2017) da Organização das Nações Unidas (ONU) se por um lado existe a preocupação com a disponibilidade da água, por outro existe a questão básica relacionada à necessidade de produzir alimentos, em maior quantidade e qualidade, e indica a necessidade de aumentar a atual produção de alimentos entre 60 e 70% até 2050 para atender à demanda crescente da população que irá superar os 9 bilhões de pessoas; e considerando as condições limitadas para expansão da área plantada, a FAO estima que 90% deste crescimento deverá vir do aumento da produtividade, em diferentes regiões do mundo. De acordo com Rodrigues e Domingues (2017) alguns fatores inerentes à agricultura moderna, contribuem para intensificar e ampliar as dificuldades associadas aos desafios de aumentar a produção para o patamar necessário, e destaca os fatores: (i) a redução da disponibilidade de terras aráveis; (ii) as assimetrias no crescimento populacional, na produção de alimentos e na oferta hídrica; (iii) a multifuncionalidade da agricultura; e (iv) as mudanças climáticas.

Assim, a produção de alimentos, em diferentes regiões, deve ser vista através de uma abordagem sistêmica que considere os aspectos legais, ações integradas de governança, aumento de produtividade e mitigação dos impactos ambientais. Corroborando com esta afirmativa, Rodrigues e Domingues (2017) descrevem que para que isto aconteça, é necessário intensificar a agricultura de maneira sustentável melhorando a eficiência dos sistemas agrícolas, tornando-os mais produtivos, sem perder de vista a resiliência dos sistemas naturais, e o aperfeiçoamento da produção, considerando ganhos de produtividade, mantendo claramente a presença dos fatores componentes do desenvolvimento sustentável.

Seguindo nesta perspectiva Mendes (2020) evidencia que ao longo dos anos o Brasil vem ocupando um espaço primordial no cenário internacional no que se refere ao fornecimento de insumos agropecuários para suprir uma demanda crescente por alimentos, através da utilização de conceitos e práticas agrícolas sustentáveis, com o foco no crescimento vertical da produção agrícola, através do desenvolvimento da agricultura irrigada no país, associando a indústria de equipamentos e suas responsabilidades socioambientais. Braga (2020) reitera a importância da contribuição das ciências e engenharia para o uso e manejo dos recursos hídricos, através do desenvolvimento de técnicas e tecnologia para a condução da agricultura irrigada e sua eficiência em sistemas de irrigação, incluindo os seus benefícios em regiões semiáridas, onde o clima é o grande diferencial na produção regional.

Conforme dados da Embrapa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020a), a irrigação no Brasil representa entorno de 7 (sete) milhões de hectares, cerca de 3% da área plantada, e grande parte desta produção está localizada na região do Cerrado. Contudo, diversos estudos têm demonstrado que o potencial de irrigação no Brasil é de 61 milhões de hectares, sendo 38 milhões de hectares se forem levados em consideração apenas regiões com solo e relevo de alta e média qualidade, e descreve que 73% dos pivôs centrais do país estão localizados no Cerrado, com destaque para o município de Unaí (MG), cidade no Brasil que tem o maior número de área irrigada (74 mil hectares), seguida por Paracatu (MG) e Cristalina (GO).

A região de Cerrado que compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Matopiba), é considerada uma das grandes fronteiras agrícolas do mundo, representada por

números expressivos de produtividade e produção, respondendo por grande parte da produção brasileira de grãos e fibras. Conforme dados da Embrapa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020b) a atividade agrícola na região que contempla 73 milhões de hectares distribuídos em 31 microrregiões e 337 municípios tem se ampliado, destaca que até 2022, segundo projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), o Brasil plantará cerca de 70 milhões de hectares de lavouras, tendo a maior expansão da agricultura no Cerrado, com projeções da a região do Matopiba para um total de 10 milhões de hectares, o que representará 16,4% da área plantada e deverá produzir entre 18 a 24 milhões de toneladas de grãos, um aumento médio de 27,8%.

Desta maneira, a região do Matopiba, tem despontado nos cenários nacional e internacional, como uma grande oportunidade do desenvolvimento da agricultura em sustentável, trazendo a integração do cumprimento legal, eficiência, inovação e tecnologia para suprir uma demanda importante do mercado, que tem apontado a importância da gestão integrada do uso e ocupação do solo com a conservação dos recursos naturais.

Neste contexto, e para atender uma demanda do mercado na produção de alimento, associando a sustentabilidade e equidade social e ambiental, Rodrigues (2020a) observa que são vários os desafios a serem enfrentados, não somente pelo produtor rural; e destaca a necessidade de uma gestão adequada, capaz de considerar as especificidades inerentes a cada setor e usuário, com integração efetiva das ações institucionais e das políticas públicas setoriais, exemplificando a necessidade da integração de ações voltadas a segurança alimentar, associado a segurança hídrica e energética. Assim, para isso aconteça, é necessário o atendimento da legislação da maneira integrada, tendo como premissa, que a água tem usos múltiplos, essencial para o desenvolvimento de diversas atividades, inclusive atividade econômica, que exige ações de governança, planejamento, gestão e monitoramento, essenciais para o seu uso equitativo e racional. Ainda, de acordo com Rodrigues (2020b), o desenvolvimento de uma agricultura sustentável passa, necessariamente, pelo uso sustentável dos recursos hídricos, que, por sua vez, depende de uma gestão que incorpore os usos múltiplos da água e considere os fundamentos e diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos, fortalecendo os mecanismos que contribuem para aumentar a oferta hídrica na bacia hidrográfica, entre esses, os sistemas de conservação de solo, que estão em constante adaptação e evolução, e apresentam o maior potencial de contribuição para os recursos hídricos em termos de sua qualidade e quantidade, destacando os mecanismos destinados ao controle da erosão, dessalinização, redução da evaporação e aumento da infiltração e da capacidade de retenção da água no solo.

É importante destacar que no Brasil, colaborando com as informações trazidas pela Política Nacional de Recursos Hídricos, a Política Nacional de Irrigação, regida pela Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013, tem como priorização a modernização e avanço da agricultura irrigada, associando e demonstrando a importância da preservação dos recursos hídricos e o uso sustentável, para as atividades atuais, garantindo os usos para as gerações futuras. Assim, considerando o lastro legal e diferentes estudos conduzidos, a ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020) descreve as vantagens do uso da irrigação: (i) aumento de produtividade da ordem de duas a três vezes em relação a agricultura de sequeiro; (ii) elevação da renda do produtor rural e redução nos riscos de produção; (iii) utilização do solo durante todo o ano com até três safras anuais; (iv) modernização dos sistemas de produção estimulando a introdução de novas tecnologias; (v) aumento da oferta e da regularidade de alimentos; e (vi) maior viabilidade para a criação de polos agroindustriais e abertura de novos mercados.

Desta maneira, diversos estudos procuram abordar a importância da água e seus usos múltiplos, destacando que a água possibilita equalizar a produção agrícola em diferentes regiões do Brasil, e a agricultura irrigada pode se tornar uma alternativa importante em regiões

com restrições pluviométricas, entretanto há disponibilidade hídrica superficial e/ou subterrânea. Contudo, para a condução da agricultura irrigada é necessário aplicar uma visão ampla do sistema hídrico, tendo como enfoque prioritário a bacia hidrográfica, e suas restrições, considerando que algumas regiões se encontram críticas no que se refere ao uso e ocupação do solo e disponibilidade hídrica.

A condição essencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no país, e sua segurança a longo prazo, está associada a um conjunto de políticas públicas que permitam a integração de informações e atos normativos, associados a diferentes instituições, com fomento ao setor, condições também fomentadas na Política Nacional de Irrigação e na Política Nacional de Recursos Hídricos.

Entre os instrumentos importantes na condução da agricultura irrigada no Brasil tem o cumprimento de uma legislação extensa sobre o uso dos recursos hídricos relacionada principalmente a Outorga de uso da água, Licenciamento ambiental, cumprimento de condicionantes descritas em Portarias dos atos autorizativos, regularização de intervenções em Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal, entre outros fatores, que atendem a especificidade de cada empreendimento rural.

Assim, para garantir melhorias na irrigação no Brasil, é imprescindível o entendimento que a utilização dos recursos hídricos em diferentes projetos e programas de irrigação dependerá de prévia Outorga de uso de água, concedida por órgão federal, estadual ou distrital, conforme previsto em legislação ambiental vigente, associado a gestão e monitoramento dos recursos hídricos, tendo como premissa os usos múltiplos e equitativo da água.

6.3 O estado da Bahia: região oeste

A condução das diversas atividades no empreendimento rural no Estado da Bahia, assim como em diferentes regiões no Brasil é caracterizada por um marco regulatório complexo e robusto. Considerando a diversidade legal que permeia a condução das atividades rurais, e a equidade no uso dos recursos naturais, destaca-se: (i) Lei Estadual 6.855 de 12 de maio de 1995 que dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências; (ii) Lei Estadual 10.431 de 20 de dezembro de 2006 que dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia e dá outras providências; (iii) Lei Estadual 10.432, de 20 de dezembro de 2006 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências; (iv) Lei Estadual 11.612 de 8 de outubro de 2009 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências; (v) Lei Estadual 12.377 de 28 de dezembro de 2011 que altera a Lei 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade, a Lei 11.612, de 8 de outubro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e a Lei 11.051, de 06 de junho de 2008, que Reestrutura o Grupo Ocupacional Fiscalização e Regulação; (vi) Lei Estadual 13.547 de 14 de dezembro de 2016, que institui o Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado da Bahia, altera dispositivos da Lei Estadual 10.431, de 20 de dezembro de 2006, e da Lei 11.612, de 8 de outubro de 2009, bem como revoga a Lei 11.478, de 1 de julho de 2009; e (vii) Lei Estadual 13.223 de 12 de janeiro de 2015 que Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências.

A legislação acima mencionada, traz amplo entendimento e normas voltadas a sustentabilidade conduzida em campo, em especial o ordenamento territorial, áreas

consolidadas, áreas nativas, recursos hídricos e uso e ocupação do solo. Entre os avanços trazidos pela legislação ambiental a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) obrigatório para áreas rurais, vem como uma ferramenta importante de monitoramento de planejamento do imóvel, obrigatória adesão pelos proprietários rurais.

O Estado da Bahia tem uma área passível de adesão ao Cadastro de 29.581.747 hectares (ha), e de acordo com dados da base Sicar (2021) a área total cadastrada é de 28.624.522,86 hectares, o que representa 784.388 imóveis cadastrados, nos diferentes biomas de Cerrado, Catinga e Mata Atlântica. A região Oeste da Bahia, um dos maiores polos de produção de grãos e fibra do Brasil, possui uma área de 9,1 milhões de hectares localizadas no Cerrado; destes, 3,1 milhões de hectares se encontram consolidados para diferentes usos, sendo 2,5 milhões de hectares destinados a produção conforme dados da Aiba (ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA, 2020a) com uma produção (soja, milho e algodão) demonstrada na Safra 2020/2021 de 6,7 milhões de toneladas de grãos, e 315@/hectare, respectivamente.

Atualmente, dos 2,5 milhões de hectares consolidados e destinados à produção na região oeste da Bahia, indicam que ao longo dos últimos 30 anos a região vem crescendo de maneira significativa. Estes dados são comprovados pelos números públicos do Produto Interno Bruto (PIB) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios da região. De maneira paralela, os números da adesão ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) indicam que a produção vem alinhada com a manutenção de áreas conservadas, preservadas e/ou em processo de recuperação, as quais se encontram em propriedades privadas e equivale a cerca de 4,5 milhões de hectares distribuídos em Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL) e outros remanescentes com vegetação nativa. Estas informações de maneira integrada, vem garantindo a sustentabilidade, em uma vez que estamos falando de uma das regiões mais promissoras do país, e uma das mais ativas fronteiras agrícolas do mundo.

Considerando a sua localização no Cerrado, a região tem merecido o olhar especial no que se refere a diferentes aspectos, entre estes, o potencial agrícola, produção, produtividade, recursos hídricos, diversidade, biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Estas condições, também permitido que a região tenha a atenção especial de instituições de pesquisa, regulação, crédito, inovação e tecnologia, que juntas tem trazido um olhar sistêmico para a região, demonstrada, por exemplo, com a criação em 2019 do primeiro Polo de Irrigação do Nordeste do Brasil, que tem o objetivo de fortalecer a atividade agrícola regional, com vistas na sustentabilidade, ampliando o desenvolvimento estruturado da região, que envolve 17 municípios da região, trazendo benefícios diretos e indiretos para o setor agrícola como um todo.

De acordo com dados da Aiba (ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA, 2020b) a agricultura praticada na região, segue o cenário nacional com 92% da área em regime de sequeiro, onde os índices pluviométricos norteiam a produção. A área irrigada, representada por 8% de toda área ocupada em áreas privadas e públicas, tendo sido praticada essencialmente em áreas do Cerrado nas Bacias Hidrográficas dos Rios Grande, Corrente e Carinhonha.

Assim às condições climáticas, os recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), condições dos solos e do relevo, a pesquisa e o uso da tecnologia tem contribuído para o desenvolvimento da agricultura na região, especialmente a agricultura irrigada, a qual é precedida de Outorgas de uso da água para usos superiores a 0,5l/s, que é ato autorizativo que garante a disponibilidade hídrica para usos múltiplos e equaliza as vazões dos cursos d'água da região, entre outras autorizações essenciais para a operação de um empreendimento rural

De maneira complementar, conforme estabelecido em legislação do Estado da Bahia, as análises das solicitações de Outorgas têm o lastro legal em Lei e regulamentos próprios, e

considerando que Aquífero Urucuia se encontra em grande proporção na região oeste da Bahia, as Outorgas de uso da água seguem um rito específico, incluindo as normativas trazidas pela Instrução Normativa INGA 15 de 18 de março de 2010 (BAHIA, 2010), sobre perfurações, vazões previstas e distanciamento em se tratando de outorgas subterrâneas, precedidas de Autorização de Perfuração de Poços (APPO); as demais captações superficiais, intervenção em curso d'água e lançamento de efluentes, seguem rito específico para as concessões de Outorgas e dispensas de uso da água.

Estudos recentes conduzidos por Mantovani *et al.* (2020a,b), demonstram a possibilidade do incremento da produção irrigada na região, tanto na agricultura empresarial quanto familiar, contudo fica evidenciado que o crescimento ocorra de maneira sustentável, com governança, eficiência nos sistemas produtivos e o monitoramento contínuo. Os resultados destes estudos, trazem informações cada vez mais precisas sobre a região, no que se refere a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea (do aquífero Urucuia), histórico de ocupação, taxa anual de recarga, profundidade do lençol freático associado a distintas estratégias de captações subterrâneas.

Além do cumprimento da legislação, é imprescindível a adoção de práticas conservacionistas de todos os recursos envolvidos no processo produtivo e essenciais para a manutenção das atividades no campo, a exemplo de: manejo e conservação do solo e da água, preservação e/ou recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal, além de adoção de programas voltados a conscientização. Estas ações em conjunto, promovem benefícios coletivos e garantem a sustentabilidade do agronegócio.

Considerando a importância das ações de sustentabilidade na região, partindo sempre do Princípio da Precaução, a Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (Aiba) em parceria com a Associação Baiana dos Produtores de Algodão (Abapa) tem conduzido diversas iniciativas que hoje são referência no Brasil, entre estas, destaco: (i) a criação do Centro de Apoio a Regularização Ambiental, que orienta o agricultor sobre as questões ambientais legais do empreendimento rural; (ii) condução do Projeto de Identificação, Preservação e Recuperação de Nascentes e Veredas; e (iii) e a pesquisa sobre o Potencial Hídrico do Oeste da Bahia. Estas ações em conjunto, têm promovido e demonstrado a importância da integração do conhecimento técnico-científico, associado ao cumprimento legal e adoção de boas práticas agrícolas são ferramentas essenciais para se atingir a sustentabilidade no campo.

6.4 Considerações finais

O fomento à pesquisa e à inovação, com o uso da tecnologia, tem garantido ao longo dos anos os números expressivos de produção e de produtividade gerados pela agricultura conduzida em diferentes regiões do Brasil, em especial a região oeste da Bahia. Esta atual condição, indica que a eficiência na produção associada ao cumprimento legal tem sido a grande chave para o sucesso no campo. De maneira paralela, as ações conduzidas no Oeste da Bahia, corroboram informações da FAO no que se refere ao desenvolvimento agrícola cada vez mais sustentável, associada ao esforço contínuo para ampliar a segurança alimentar, tendo como premissa o compromisso de uma produção cada vez mais equitativa e justa, considerando que o Brasil tem uma legislação ambiental rígida e bastante complexa quando comparada com outros países do mundo.

O desafio de desenvolver a produção cada vez mais sustentável tem exigido não somente o cumprimento da legislação, mas também a adoção de diversas estratégias e políticas públicas, que permeiam a geração, adoção e difusão de tecnologias adequadas, associadas a estruturação de sistemas de informações e monitoramento cada vez mais integrados e eficientes, tendo a gestão dos recursos hídricos fundamentada em uma

abordagem multidisciplinar e visões dos diferentes setores e usuários, considerando sempre os usos múltiplos da água e a segurança hídrica.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação**: Uso da Água na Agricultura Irrigada, 2020. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>. Acesso em: 11 jul. 2020.

ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA. **Informe AIBA & ABAPA**, 2020a. Disponível em: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2020/12/Informe-AibaAbapa-Novembro.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2020.

ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA. **Produtores rurais defendem agricultura irrigada para impulsionar produtividade com uso sustentável das terras do Oeste da Bahia**, 2020b. Disponível em: <https://aiba.org.br/noticias/produtores-rurais-defendem-agricultura-irrigada-para-impulsionar-produtividade-com-uso-sustentavel-das-terras-do-oeste-da-bahia/>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BAHIA. **Instrução Normativa 15 de 18 de março de 2010**, 2010. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/instrucoes-normativas/instru-o-normativa-ing-n-15>. Acesso em: 23 out. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 10.431 de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a política de meio ambiente e de proteção à biodiversidade do estado da Bahia e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2006. Disponível em: http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Lei%2010431_2006.pdf. Acesso em: 11 jul. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 10.432 de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2006. Disponível em: <https://governo-ba.jusbrasil.com.br/legislacao/85401/lei-10432-06>. Acesso em: 11 jul. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 11.612 de 8 de outubro de 2009. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2009. Disponível em: http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Lei_11612%5B1%5D.pdf. Acesso em: 4 mar. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 12.035 de 22 de novembro de 2010. Altera dispositivos da Lei 11.612, de 8 de outubro de 2009, que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2010. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/LEI%20N%C2%BA%2012.035%20DE%2022%20DE%20NOVEMBRO%20DE%202010.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 12.377 de 28 de dezembro de 2011. Altera a Lei 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a política estadual de meio ambiente e de proteção à biodiversidade, a Lei 11.612, de 8 de outubro de 2009, que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e a Lei 11.051, de 6 de junho de 2008, que reestrutura o grupo ocupacional fiscalização e regulação. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2011. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/LEI%20N%C2%BA%2012.377%20DE%2028%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 13.223 de 12 de janeiro de 2015. Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2015. Disponível em: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/LEI-N-13-233-PSA.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 13.547 de 14 de dezembro de 2016. Institui o Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado da Bahia, altera dispositivos da Lei Estadual 10.431, de 20 de dezembro de 2006, e da Lei 11.612, de 8 de outubro de 2009, bem como revoga a Lei 11.478, de 1

de julho de 2009. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 2016. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=333527>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BAHIA. Lei Estadual 6.855 de 12 de maio de 1995. Dispõe sobre a política, o gerenciamento e o plano estadual de recursos hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, 1995. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/LEI6855.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BRAGA, M.B. **Sustentabilidade da Irrigação no Brasil**, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164936/1/Sustentabilidade-e-horticultura-254-271.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2020.

BRASIL. Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Coleção de Leis do Brasil -1934**, v.4, p.679, 10 jul. 1934. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 28 set. 2020.

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p.1, 28 mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 26 ago. 2020.

BRASIL. Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nos 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p.4, 14 jan. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm. Acesso em: 23 out. 2020.

BRASIL. Lei 140 de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial da União**, seção 1, p.1, 9 dez (publicação original), seção 1, p.2, 12 dez. 2011 (retificação). 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 23 out. 2020.

BRASIL. Lei 6938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **DOFC** de 2 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 20 out. 2020.

CAVALCANTE, K.L. **A nova política nacional de irrigação (Lei 12.787/2013) e o desenvolvimento sustentável na agricultura**, 2020. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA8_ID2833_12082019215248.pdf. Acesso em: 2 ago. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Bahia, Brasil. **Boletim das Safras de Grãos: 1995/2020**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 20 out. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Matopiba, 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/perguntas-e-respostas> Acesso em: 1 dez. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesquisa e setor produtivo discutem a agricultura irrigada no Brasil**, 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54297801/pesquisa-e-setor-produtivo-discutem-a-agricultura-irrigada-no-brasil> e https://www.youtube.com/watch?v=ginkYO_mfsCo&feature=youtu.be. Acesso em: 27 dez. 2020.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa. **Síntese ocupação e uso das terras no Brasil**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/car/sintese>. Acesso em: 23 out. 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The future of food and agriculture - Trends and challenges**. Rome, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2020.
- LEITE, A.F.G.; BELEM, F.C.; XAVIER, R.M.; ARAÚJO, W.O. **Polos de agricultura irrigada: uma proposta de reconfiguração da política nacional de irrigação no país**. Disponível em: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2020/07/AibaRural-Edi%c3%a7%c3%a3o-16-Vers %c3%a3o-Digital-final.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- MANTOVANI, E.; COSTA, M.H.; NEALE, C.; SILVA JUNIOR, A.G.; MARQUES, E.A.; CARDOSO, G. **Sistema integrado de monitoramento dos recursos hídricos: solução para expansão sustentável da irrigação**. 2020b. Disponível em: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2020/09/AibaRural-Edicao-17-Digital.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2020.
- MANTOVANI, E.; SILVA JUNIOR, A.G.; COSTA, M.H.; MARQUES, E.A.; CARDOSO, G.; PRUSKI, F.F. **Potencial hídrico da região oeste da Bahia: Relatórios**. 2020a. Disponível em: <https://aiba.org.br/potencial-hidrico-relatorios/>. Acesso em: 4 dez. 2020.
- MENDES, A.A. O novo papel da indústria de equipamentos na agricultura irrigada. In: RODRIGUES, L. N.; ZACCARIA, D. **Agricultura Irrigada, um breve olhar**, 337p. 2020. Disponível em: [Lineu-Ebook-AgriculturaIrrigada-um-breve-olhar-VF \(1\).pdf](#). Acesso em: 4 dez. 2020.
- RICCI DOS SANTOS, R. **Irrigação como alternativa de sustentabilidade agrícola e ambiental**, 2010. Disponível em: http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20180403121217.pdf. Acesso em: 25 out. 2020.
- RODRIGUES, L. **Intensificação e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas**, 2020b. Disponível em: https://www.embrapa.br/olhares-para-2030/intensificacao-e-sustentabilidade-dos-sistemas-de-producao-agricolas/-/asset_publisher/MpEPEYHn8qxt/content/lineu-neiva-rodrigues?inheritRedirect=true. Acesso em: 28 dez. 2020.
- RODRIGUES, L. **Mitos e Fatos na agricultura irrigada (Parte III)**, 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/55110512/mitos-e-fatos-na-agricultura-irrigada-parte-iii>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- RODRIGUES, L.; DOMINGUES, A.F. **Agricultura Irrigada desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**, Brasília, Inovagri, 327p., 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168474/1/Agricultura-Irrigada.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.
- SALASIER, B. **Impacto Ambiental da irrigação no Brasil**, 2008. Disponível em: https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/imagens/winotec_2008/winotec2008_palestras/Impacto_ambiental_da_irrigacao_no_Brasil_Salassier_Bernardo_winotec2008.pdf. Acesso em: 23 out. 2020.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Cadastro Ambiental Rural - CAR**. 2020. Disponível em: <https://www.car.gov.br/#/> e <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 27 dez. 2020.

CAPÍTULO 7

7 POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS À AGRICULTURA IRRIGADA SUSTENTÁVEL

Ana Maria Soares Valentini, Amarildo José Brumano Kalil, Luciano Baião Vieira e Paulo Afonso Romano

Resumo

A irrigação é uma das técnicas mais antigas das atividades humanas. Surgiu por volta de 4.000 a.C. Às margens dos rios Tigres e Eufrates. O uso da água na produção se tornou tão importante que essas civilizações passaram a se chamar "civilizações hidráulicas" onde suas organizações tinham dependência econômica dos rios que as margeiam. A agricultura é estratégica para qualquer país, portanto cabe alguma regulação do Estado no caso da agricultura irrigada o controle se dá mais efetivamente sobre a água. Para alimentar os 9 bilhões de habitantes em 2050 somente será possível se se ampliarmos significativamente a área irrigada no mundo. Com a irrigação é possível produzir 2,7 vezes mais em mesma área sendo possível realizar duas ou mais safras por ano com a mesma infraestrutura. No Brasil que possui considerável dotação de recursos hídricos ainda não usa seu potencial. Iniciativas governamentais foram tomadas desde o império e durante o período republicano foram criados o DNOCS a Codevasf E uma série de programas e projetos. Vários perímetros irrigados foram implantados pelo Brasil com ênfase no Nordeste, alguns lograram êxito e outros não. É importante ressaltar que a agricultura irrigada privada evoluiu por conta própria excetuando - se alguns programas de incentivo (Provarzeas, Proni) e hoje é responsável por mais de 96% da área irrigada no país. Portanto é fundamental para a manutenção e ampliação dessa participação a reservação de água para regularização das vazões. Infelizmente é nesse quesito que se encontra um conflito de décadas entre os agricultores e o meio ambiente, portanto há que acrescentar mais ciência, inteligência e bom senso no processo de formulação e gestão. E principalmente, mais diálogo. Qualquer política ambiental ou agrícola passa pela implementação local e participação direta dos atores territoriais. Os processos de utilização dos recursos pelos agricultores seriam sempre determinantes na conservação ou degradação do meio ambiente. Para trazer e dar oportunidade para a parceria do poder público com os agricultores foram implementados alguns Planos de Agricultura Irrigada (MG, RS, MS) como pilotos, porém carecem de apoio para se tornarem perenes. Uma novidade no Plano Diretor de MG foi a concepção dos territórios da Agricultura Irrigada que passaria ser a unidade de planejamento como espaços comuns de colaboração nesse caso adotou-se a sub-bacia hidrográfica unidade básica. Neste contexto houve a estruturação do Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) que faz diagnóstico da sub-bacia permitindo a pactuação entre os integrantes do Território da Agricultura Irrigada. Com base no ZAP e com a pactuação entre os atores no Território é possível elaborar o Plano de Adequação Socioeconômica e ambiental que tem como objetivo central levar aquela bacia à agricultura sustentável. Os demais Planos seguem em linhas gerais esses princípios levando em conta as características específicas de cada Estado. Para consolidação da Agricultura Irrigada no Brasil terá que organizar o compromisso de produzir com responsabilidade e preceitos da sustentabilidade aproveitando o potencial da Agricultura Irrigada.

7.1 Introdução

A irrigação é uma das mais antigas atividades da humanidade. Surgiu por volta de 4000 a.C. na Mesopotâmia às margens dos rios Tigres e Eufrates (atual Turquia, Iraque e Síria); no rio Nilo, no Egito; Indo e Ganges, na Índia e Amarelo e Yang-Tsé na China. Tornou-se, à época, fator decisivo no desenvolvimento destas regiões.

7.2 Panorama retrospectivo global

Mesmo com técnicas rudimentares, esses povos conseguiam produzir para sua população, garantindo segurança alimentar, além de comercializar os excedentes, com países vizinhos, o que proporcionou lucros para formar e manter grandes cidades e impérios por milênios.

Segundo Karl August Wittfogel (1957), essas civilizações hidráulicas, que eram a expressão das culturas antigas, da Mesopotâmia e do Egito, estão relacionadas ao sistema concebido na hipótese causal hidráulica (a teoria da hipótese causal hidráulica de Wittfogel apareceu em 1957, no livro *Oriental Despotism: A Comparative Study of Total Power*, e até hoje aparece nos manuais didáticos de história como o fator que explica o desenvolvimento das sociedades antigas do Oriente Próximo. No entanto, vários questionamentos têm sido colocados nas últimas décadas, em especial depois que novas escavações arqueológicas mostraram que a forma como Wittfogel interpretou artefatos e sítios urbanos não estava totalmente correta) e no modo de produção asiático. Essa hipótese explicaria a organização social e econômica dessas civilizações (a falta de conhecimento prevaleceu, muitas vezes, levando à perda de áreas produtivas pela salinização dos solos) baseadas na dependência econômica dos rios que as margeiam.

Essas regiões são ainda grandes produtoras de alimentos e fibras através da agricultura irrigada.

O crescimento das populações não mais permite que essas áreas sejam suficientes para garantir a segurança alimentar dos países. Eles são obrigados a comprar alimentos no mercado internacional, principalmente China e Índia; com populações de mais de 1 bilhão de habitantes cada.

Desde sua origem, a agricultura irrigada tem o controle do Estado, seja ele de que filosofia for. Como a Agricultura será sempre estratégica em qualquer país e, portanto, terá alguma regulamentação do Estado, principalmente no que se refere à água. São áreas onde a regulamentação técnica do Estado é legítima e aceita pela sociedade.

Com o passar dos tempos, a situação foi se modificando e a geopolítica mundial incorporou outras prioridades, com a agricultura ficando em segundo plano. Entretanto, se os demais setores entram em colapso, as *commodities* agrícolas se valorizam gerando inflação no mundo inteiro. A produção de alimentos, fibras e energia limpa foi, é e será essencial para a humanidade.

Segundo dados da Organização Mundial para a Alimentação e a Agricultura – FAO (UN DESA, 2009), em 2050 o mundo terá em torno de 9 bilhões de habitantes, representando quase 25% de acréscimo à população atual. Adicionalmente, haverá aumento da renda, pelas mudanças na produtividade em segmentos das populações da Índia e da China, principalmente.



Figura 1. Concentração de Pivôs às margens do rio Tigre no Iraque (GOOGLE EARTH, 2014).



Figura 2. Famoso delta do rio Nilo, área com grande concentração de agricultura irrigada no Egito (GOOGLE EARTH, 2020).

Com a população e renda adicionais amplia a demanda, dentre outros produtos e serviços, de mais alimentos que os hoje produzidos. Além de mais quantidade, espera-se melhor qualidade nos alimentos. O desafio só poderá ser atingido com o uso da agricultura irrigada, mobilizando técnicas e processos já dominados. Eles permitem aumentar em até 2,7 vezes a produção em uma mesma área, proporcionando mais de uma safra por ano, com a mesma infraestrutura instalada (estradas, máquinas e equipamentos de irrigação, terras, etc.). No Brasil, país de clima tropical, é possível realizar até 3 safras por ano utilizando, além da

água na irrigação, variedades precoces, máquinas e equipamentos adaptados, agricultura de precisão, entre outros processos que aumentam a produtividade.

7.3 Antecedentes no Brasil

A considerável dotação de recursos hídricos, em águas superficiais e subterrâneas no País, não se alinhou a momentos institucionais de forte apoio à agricultura irrigada, com políticas públicas ativas de promoção e incentivo à atividade. Embora muitas vezes o governo perceba o potencial, como na clássica ideia de resolver o problema da pobreza nordestina, desde o império, por essa via. Em 1877 disse o imperador: "Não restará uma única joia na Coroa, mas nenhum nordestino morrerá mais de fome".

São célebres as citadas palavras e a partir delas iniciaram-se ações para mitigar o drama da região durante os últimos vinte anos imperiais. O senado do império até discutiu a transposição de águas do São Francisco. Entretanto, apenas no período republicano é que se institucionalizou a Inspeção de Obras contra a Seca que antecedeu como seu embrião, ao Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS). A realização das obras resultou, muitas vezes, em descaminhos também denominados como indústria "da seca".

O contexto da gestão das obras hídricas, no plano federal, levou à consagração pela legislação brasileira da competência sobre irrigação ao Ministério do Interior e seus sucessores, no caso atual, o Ministério do Desenvolvimento Regional. Separou-se a política de irrigação da política agrícola. Apenas durante o governo da Nova República (1986/1990), essa configuração foi alterada, havendo a estruturação do Ministério Extraordinário da Irrigação. Buscou-se atualizar e modernizar as explorações agrícolas dos projetos/perímetros do Nordeste, através do Programa de Irrigação do Nordeste - PROINE. Houve também avanço considerável no apoio ao crescimento da irrigação fora do Nordeste, através do Programa Nacional de Irrigação (PRONI).

Em meio a oscilações institucionais, alguns projetos foram se consolidando no Nordeste. Entretanto, foram preservados resquícios do clientelismo e assistencialismo que caracterizaram a seleção dos irrigantes em muitos projetos. A própria legislação consagrou o assistencialismo como método, facilitando a entrega de lotes a produtores sem preparo, na exploração e gestão das parcelas nos perímetros irrigados. Embora a intenção e o propósito pudessem ser nobres, os resultados quase sempre eram negativos ou nulos, com implicações conhecidas, a exemplo da salinização dos solos e outros fatores de degradação dos projetos. O círculo vicioso se complementa com a gestão dos órgãos públicos encarregados pelos projetos sendo feita por indicações políticas, sem compromisso com resultados e até vinculada ao uso eleitoral das obras; quase sempre mais caras e demoradas do que o necessário e razoável.

A busca por melhorias nos perímetros públicos destaca o trabalho desenvolvido por Eliseu Alves, como presidente da Codevasf, aumentando a produtividade das lavouras, bem como focalizando o mercado das exportações de frutas, hortaliças, legumes e flores como um dos maiores potenciais econômicos do Nordeste. Registro marcante nesse trabalho foi a publicação, em 1989, do Livro Frutas Brasileiras – Exportação (os estudos foram realizados pela Hecta Consultoria e Administração Ltda. sob a coordenação e com a participação do próprio Eliseu Alves, nos trabalhos. Naquele momento a Codevasf estava sob gestão do Ministério da Agricultura sendo o livro apoiado também pelo BNB e Ministério da Fazenda) avaliando e estruturando o potencial do Nordeste exportar, anualmente, um bilhão de dólares em frutas frescas. Depois, foi gradativamente sendo consolidado o viés exportador da região sob a liderança do Vale do São Francisco, depois da construção de modelo nacional capitaneado pela Associação dos Produtores e Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco (VALEXPORT) constituída por lideranças locais apoiadas pela Codevasf.

O processo de transformação levou a novos formatos de gestão dos projetos, seja pela emancipação ou pela transferência de gestão a distritos de irrigação (o estudo original de organização dos distritos de irrigação, ainda na gestão Eliseu Alves na Codevasf, viabilizou a estruturação do Distrito de Irrigação do Jaíba-MG, como modelo para outros perímetros públicos, e abriu a discussão sobre gestão privada no setor) iniciando-se discussões sobre concessões, permissões de serviços públicos e, posteriormente, parcerias público-privadas.

A modernização incluiu esforços regionais para consolidar Polos Agroindustriais no Nordeste. Resultam de polarização, efetivada pelo BNB e pelo ETENE, nos trabalhos técnicos denominados "Estudos sobre a agroindústria no Nordeste", no ano de 1990. No volume V, apresentam-se a caracterização e a hierarquização de polos agroindustriais. Alguns deles, especialmente o polo Petrolina/Juazeiro, começaram a entregar resultados incentivando a que em fins dos anos 90, tenham aparecido esforços governamentais marcantes para transformar potenciais nordestinos em renda e emprego.

Destaca-se a formulação Programa de Apoio e Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada do Nordeste (PADFIN) instituído pelo decreto de 26 de setembro de 1997. A inovação essencial trazida pelo PADFIN foi a operacionalização da aplicação do inciso V, do artigo 1º da Lei 9074 de 7 de julho de 1995, que instituiu as concessões no setor da hidroeletricidade e trouxe a mesma hipótese desestatizante para os perímetros de irrigação e barragens.

A proposta básica que instruiu o processo de tramitação e assinatura do decreto do PADFIN menciona (às páginas 25 a 32) o Novo Modelo de Irrigação, desenvolvido pelo Grupo de Trabalho da Câmara de Políticas Regionais (SEPRE/MPO, SPA/MPO, SPA/Mapa, SPI/MICT, SRH/MMA), com apoio do BID e foco na desestatização. Foram publicados os estudos correspondentes ao mencionado novo modelo: (i) a importância do agronegócio da irrigação para o desenvolvimento do Nordeste; (ii) estado da Arte Nacional e Internacional do Agronegócio da Irrigação 2000; (iii) modelo geral para a otimização e promoção do agronegócio da irrigação; e (iv) modelo específico para a otimização e promoção do Projeto de Irrigação Salitre, em Juazeiro/BA. Embora a busca por caminhos que facilitem a transferência de perímetros públicos para a gestão privada fosse consenso, a operacionalização nunca é simples, sendo quase sempre adiada.

Outro destaque a mencionar refere-se à inflexão na visão do País sobre sua dotação hídrica. Embora sempre estivesse presente uma perspectiva de abundância, a estruturação do então Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MARHAL) apontou outras necessidades. Seja de regulação adequada ou de estratégias para enfrentamento da escassez de água, ainda pontual em locais de uso intensivo e concorrente entre setores. A inclusão dos recursos hídricos no nome do Ministério sinalizou a disposição das autoridades em melhorar a gestão deste bem estratégico, organizando-se na estrutura ministerial a Secretaria de Recursos Hídricos-SRH.

A SRH, logo no início, cuidou de ter uma perspectiva de solução para nítidos problemas referentes à degradação ambiental em bacias hidrográficas. Com o apoio de consultores externos, mobilizados pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), realizou a formulação do Programa de Conservação e Revitalização dos Recursos Hídricos das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Buscou retomar a tradição ambiental da agricultura, expressa nos trabalhos de gestão integrada de microbacias hidrográficas. No contexto do Paraná, os trabalhos de gestão das microbacias, feitos por redes de atores territoriais, conseguiram a recuperação ambiental de áreas degradadas; eliminando-se voçorocas e/ou obtendo-se a volta da água a locais onde já não era mais encontrada.

No plano institucional, a regulação do uso da água era arcaica. Vinha de situação atribuída à crise econômica, do final do século XIX e início do século XX, explicada pela

mudança no modelo econômico, de agrário para industrial, exigindo maior utilização de energia elétrica. Neste panorama foi publicado, em 10 de julho de 1934, o Decreto 24.643, que aprovou o Código de Águas Brasileiro. Na prática, o setor elétrico dava sozinho as cartas na utilização de águas. No governo a responsabilidade era do Departamento Nacional de Água e Energia (DNAE) do Ministério das Minas e Energia.

O então Secretário (a nomeação de Paulo Afonso Romano agregou capacidade de negociação. Em conjunto com o então Ministro do Gustavo Krause, os dois organizaram equipes, no governo e no parlamento, mobilizando o apoio necessário à promoção das mudanças na legislação hídrica mesmo contrariando o setor elétrico) da recente SRH, com apoio e participação do Ministro (MARHAL), logrou mobilizar esforços no parlamento para votar a nova legislação dos recursos hídricos que aguardou décadas pela modernização. Negociou-se a aprovação da Lei 9433, dita das águas, em janeiro de 1997 trazendo no bojo aperfeiçoamento na regulação. Posteriormente, a SRH implementa novo mecanismo de gestão, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), instituída pela Lei 9984 de 17 de julho de 2000, para operacionalizar o Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

7.4 Política de agricultura irrigada harmonizada ao meio ambiente

Em boa medida, mesmo com ações pontuais ao longo do tempo, pode-se afirmar que a agricultura irrigada privada, fora do Nordeste, evoluiu por conta própria, praticamente sem apoio do Estado. Excetuam-se os esforços do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (Provarzeas) (Decreto 86.146 de 1981) e posteriormente, do Programa Nacional de Irrigação (Proni) (1986), dirigido às demais regiões (sul, sudeste, centro-oeste e norte), uma vez que o Nordeste já estava atendido pelo Proine. Embora não se possa debitar apenas aos desígnios institucionais a baixa performance brasileira no uso da irrigação e na promoção da agricultura irrigada, este aspecto é essencial. São conhecidas as instituições existentes em outros países para impulsionamento do setor, com estruturas ministeriais ou semelhantes. São mecanismos permanentes capacitados tecnicamente, mobilizando recursos internos dos países e de financiamentos externos.

A busca por novos patamares de aproveitamento do potencial existente no Brasil foi marcada pela organização, pelo MI e Mapa, do Seminário Nacional "Agricultura Irrigada e o Desenvolvimento Sustentável", realizado no auditório Nereu Ramos da Câmara dos Deputados, em maio de 2009. Os organizadores do seminário deram foco à sustentabilidade ambiental como âncora da expansão possível e desejável nas áreas irrigadas. Trata-se de materializar proposições e conclusões expressas no Relatório Brundtland, intitulado "Nosso Futuro Comum". Destaque-se a participação diferenciada do Brasil, nas formulações e concepções contidas no relatório, através de contribuições relevantes do saudoso professor Paulo Nogueira Neto, da Universidade de São Paulo (USP).

A realização do Seminário Nacional representou a retomada no processo de exame estratégico da Agricultura Irrigada, tanto por congregar os Ministérios da Integração Nacional e da Agricultura, como por mobilizar a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e outros órgãos técnicos. Além de abrangência técnica, nas proposições de palestrantes e participantes, houve a instalação do "Fórum Nacional da Agricultura Irrigada", embrião do mecanismo de governança setorial público-privado. Houve vigorosa participação de pessoas e instituições no evento como nas edições posteriores do Fórum Nacional.

Em face do interesse demonstrado e do planejamento prévio à realização, os trabalhos mereceram continuidade, através de formulações congruentes com a expectativa de construção e explicitação do novo marco conceitual consagrando o compromisso com o Desenvolvimento Sustentável. As próprias notas do relator do evento já contemplam indicações e observações sobre ajustes necessários nas políticas públicas e nos processos

produtivos da AI: (i) apontam desperdício: o Brasil é o País que mais desperdiça água, não sabendo utilizar a água de que dispõe. Desperdiça porque não armazena a chuva, deixando que se escoe sem transformá-la em produção, emprego e renda. Enquanto o escoamento superficial é em média mundial, de 38% de toda a água precipitada em forma de chuva, no Brasil chega a ultrapassar 50%. A agricultura pode guardar até 35 vezes o volume de água dos rios e represas do País, e (ii) mencionam gargalo: apesar do êxito da agricultura, alicerçado nos resultados de pesquisa da Embrapa, até então não temos o desenho de uma agricultura tipicamente tropical (o ex-Ministro Alysson Paolinelli tem mencionado e advogado o caráter tropical da agricultura. Com a formulação dos Planos de AI – MG, RS e MS – o MI investiu na estruturação da política renovada pelo novo marco conceitual e atualização legal. Mesmo instituída na nova Lei, sua continuidade administrativa ainda carece de manter o planejamento de forma duradoura, permanente), com uso sistemático da irrigação. Falta desenhar o modelo de agricultura de caráter contínuo ao longo de todo o ano, com irrigação, o que implica em alterar as rotinas da pesquisa, extensão rural, crédito, tributação e logística.

Os limites do presente não permitem discutir com profundidade o relacionamento entre Agricultura Irrigada e Meio Ambiente, contemplado nas notas do relator, referidas. Entretanto, é possível concluir que a regulação ambiental em vigor, embora nova, já requer aprimoramento. A experiência ainda amadurece mesmo que já ofereça opções. A situação piora em face de limitações técnicas em muitos dos organismos ambientais, contribuindo para a manutenção de posturas e regras que funcionam como freio à expansão da agricultura irrigada.

A evolução esperada nos procedimentos e requisitos de regulação no acesso à água é no sentido de que os mesmos sejam mais práticos, fazendo exigências que garantam sustentabilidade para o processo e não a virtual proibição do uso. Essa é representada pela enorme dificuldade, de grande parte do público interessado, em obter as licenças necessárias (outorga de água e licenciamento ambiental) aos empreendimentos.

Há localidades em que as assimetrias na distribuição das outorgas chegam a chamar a atenção em função da disparidade dos acessos a água em função do maior poder econômico e político de alguns dos usuários que têm condições de contratar consultorias especializadas nesses tipos de processos, conseguindo assim o acesso mais rápido.

A consolidação do novo marco conceitual com a sustentabilidade ambiental, permeando os processos, passa pela concepção de novas possibilidades, nos regulamentos públicos, para que as vedações sejam modificadas abrindo soluções ambientalmente efetivas e economicamente viáveis.

Há que acrescentar mais ciência, inteligência e bom senso no processo de formulação e de gestão. E, principalmente, mais diálogo.

7.5 Conservação e reservação de água na agricultura irrigada

A natureza territorial da agricultura pode ser constatada na presença marcante dos agricultores ao longo do espaço. Indiferente do quadro institucional em que esteja organizada a gestão de determinado local, a presença de técnicos dos organismos oficiais é restrita e ocasional. A gestão efetiva no dia a dia fica sob a responsabilidade dos agricultores em suas propriedades. Qualquer política ambiental ou agrícola passa pela implementação local e participação direta dos atores territoriais.

Os processos e formas de utilização dos recursos pelos agricultores serão sempre determinantes na conservação ou degradação ambiental. A experiência do Paraná, que chegou a conviver com imensas voçorocas e escassez de água resultantes de degradação ambiental, é exemplar. O trabalho coletivo foi essencial para superar os problemas. Inúmeros

financiamentos que o Estado obteve nos projetos Paraná Rural, foram essenciais para manter a política pública de forma permanente. O trabalho de redes de atores (agricultores, prefeituras, governo do Estado, polícia, assistência técnica e outras partes interessadas) possibilitou a recuperação ambiental. Ficou evidenciado que não adianta um agricultor fazer terraços, bacias de contenção e outras práticas para evitar as enxurradas e a erosão se os vizinhos nada fizerem. Além do trabalho individual na propriedade, é necessário o trabalho de todos na bacia hidrográfica; seja na sub-bacia ou num trecho dela.

A estratégia está descrita nos projetos de gestão integrada de microbacias através do apoio de vários projetos "Paraná Rural" financiados ao Estado, ora pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) ora pelo Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD). Em avaliações posteriores realizadas pelo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), "os custos por ha recuperado situam-se na ordem de 32 dólares, quando a experiência mundial descrita, pelo BIRD, fala em números próximos de 150 dólares norte-americanos por hectare".

Além da experiência paranaense, merece menção destacada os trabalhos que se realizam sob orientação da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas. A disseminação de barraginhas permite evitar o escoamento superficial, contribuindo para a conservação da água e dos solos. O custo de implantação é muito baixo. Há experiência mostrando o potencial de transformar o próprio clima (a fazenda de Alysson Paolinelli, em Baldim MG, mostra o potencial de reservação e armazenamento de água no próprio solo, através de barraginhas. Elas estão combinadas com sistemas de manejo e processos produtivos sustentáveis, como os Sistemas Agroflorestais – Lavoura, Pecuária e Floresta, por exemplo. A combinação de boas práticas transformou a propriedade, de área sem água, em unidade produtiva com água), da área em foco, com o efeito continuado da gradativa ampliação da reservação de água no solo ensejada pelas citadas barraginhas, em combinação à prática de processos produtivos adequados e sistemas de produção consistentes com a busca da sustentabilidade no processo.

A estruturação do setor, muitas vezes, requer que a guarda de água seja feita em represas maiores, exigentes em investimentos vultosos em obras e licenciamento ambiental, sofisticado e caro. Essa reservação de volumes grandes de água, muitas vezes, sequer chega a ser examinada por organismos ambientais em razão de restrições nos regulamentos públicos. É um dos caminhos que remete a água ao mar, sem uso. A reservação de água e a sua conservação quando a chuva cai, é essencial à estruturação da agricultura irrigada, de natureza tropical, caráter permanente e funcionamento o ano inteiro.

A reserva de água é uma pauta incontornável para os irrigantes, seja através de soluções individuais ou em ações coletivas nas sub-bacias. A estruturação de soluções mais definitivas vai requerer que se reconstrua a institucionalidade e a operacionalidade da governança territorial. A então SENIR/MI renunciou à interlocução com as principais representações do setor, tomando medidas unilaterais que desativaram o Fórum Nacional de Agricultura Irrigada.

7.6 Renovação do marco institucional e legal

Houve inflexão na atuação do então MI que buscou construir uma abordagem mais inclusiva, do ponto de vista institucional, levando a discussões que integraram técnicos de vários organismos públicos e representações dos agricultores irrigantes. Houve também interação com professores, pesquisadores e representações da indústria de equipamentos para irrigação. Antes mesmo da realização do mencionado Seminário Nacional, de maio de 2009, buscavam-se participação e propostas para atualizar o marco institucional e legal do setor. Encontrava-se no MI equipe formada pelo então Ministro Ciro Gomes, defensor de atuação conjunta e integrada entre Mapa e MI, com vistas a evitar que as imperfeições no marco

institucional pudessem prevalecer. Tanto que procurou o Ministro da Agricultura, Roberto Rodrigues, para organizarem atuação conjunta na matéria.

Depois da saída de ambos do governo, o processo de modernização institucional prevaleceu na pauta de negociações, entre técnicos e executivos governamentais, empresários e o parlamento; construindo-se conjuntamente projeto de Lei para renovar a política de agricultura irrigada e seus instrumentos. Tudo no contexto de um MI atento ao papel de outras partes interessadas.

Destaque-se que as próprias notas do relator do Seminário Nacional, já mencionadas, registram a expectativa de aperfeiçoamento institucional e compartilhamento das decisões, entre público e privado:

É possível que o Conselho previsto no Projeto de Lei que se encontra em tramitação na Câmara dos Deputados seja uma solução compatível. Porém há de se estudar as prerrogativas e condições materiais de existência desse Conselho para ele se credenciar como instância apropriada (informação pessoal)².

Durante o próprio Seminário, o então presidente da Câmara Michel Temer, presente, mencionou que a proposta de nova lei da irrigação estava em condições de ser votada rapidamente. Não ocorreu com a velocidade anunciada, mas foi aprovada em janeiro de 2013, a Lei federal 12.787, fixando novo marco institucional para projetos, além de elencar os elementos constitutivos da nova política. Destaque-se a relevância dos aspectos de sustentabilidade do processo e da integração com outras políticas setoriais, conforme expresso no artigo 3º, como princípios:

I - Uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação; e, II - integração com as políticas setoriais de recursos hídricos, de meio ambiente, de energia, de saneamento ambiental, de crédito e seguro rural e seus respectivos planos, com prioridade para projetos cujas obras possibilitem o uso múltiplo dos recursos hídricos (BRASIL, 2013).

O texto da Lei 12.787 consolidou o novo marco conceitual que o “Seminário Nacional Agricultura Irrigada e o Desenvolvimento Sustentável” explicitou. Não cabe mais falar de agricultura irrigada fora do contexto da sustentabilidade ambiental do processo. Entretanto, ainda não há condições nos órgãos ambientais para eles serem parceiros, contribuindo com soluções de eficácia econômica e ambiental. Ainda prevalece, muitas vezes, uma visão distorcida da agricultura irrigada como problema, olvidando-se do seu papel relevante nas funções econômica e ambiental. Em outras palavras, predomina a cultura política do comando e controle na área ambiental, em detrimento da valorização do produtor como gestor do espaço rural, inclusive para efeitos de cuidados com o meio ambiente.

7.7 Concepção e estruturação dos instrumentos e mecanismos de gestão

Antes que a própria Lei 12.787 viesse definir, formalmente, os contornos da nova política, o MI começou a trabalhar na busca de criar as condições necessárias para o projeto de novo marco legal ser implementado. No contexto, negociações pós Seminário Nacional foram conduzidas com vistas a operacionalizar diretrizes e premissas do novo marco conceitual, num Plano Diretor de Agricultura Irrigada, em Minas Gerais.

Considerou-se a tradição de planejamento existente no Estado, bem como de iniciativas congruentes com o novo marco conceitual, já em desenvolvimento; a exemplo do “Projeto de

² Notas do Relator Mauro Márcio de Oliveira.

Adequação Socioeconômica e Ambiental das Propriedades Rurais” baseado na metodologia ISA (Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas). Afinal, toda propriedade rural é um agroecossistema. Daí estimular o uso do bom senso junto com as técnicas.

Ademais, começar a formulação e implementação do novo marco conceitual por Minas Gerais, aproveita a oportunidade de aprender sobre legislação ambiental e respectivo aparato de gestão, construídos no Estado. Em Minas, a Lei 13.199/1999 que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos completou, em janeiro de 2020, vinte e um anos de existência. Seus fundamentos deixam claras opções para as políticas públicas necessárias à agricultura irrigada.

O exame da lei mineira sobre recursos hídricos evidencia restrições e salvaguardas ao uso da água, embora também aponte soluções. Sua operacionalidade incorpora decretos e normas infralegais, cujo conjunto, somado ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos e aos Comitês de bacias hidrográficas, estabelece a estrutura legal e institucional da gestão dos recursos hídricos.

As políticas públicas voltadas para essa área, inclusive de agricultura irrigada, devem seguir todas as diretrizes das Leis das águas, federal e estadual. Ou seja, a União pode e deve apoiar os Estados e até liderar o processo. Entretanto, ela não possui mandato sobre a legislação estadual e respectivas normas e regulamentos complementares. É essencial que a coordenação necessária se faça pelo entendimento e colaboração mútuos. Assim, embora os impactos econômicos da irrigação sejam às vezes, aferidos através de enfoques regionais; a exemplo da citada regionalização dos polos agroindustriais do Nordeste, não há como fugir dos Planos Estaduais de Agricultura Irrigada. Os Planos são, portanto, instrumentos de coordenação intersetorial necessários nos Estados à implementação da nova política de agricultura irrigada, instituída pela Lei 12.787 de 2013, em cumprimento de seu artigo 5º, inciso I.

O novo marco conceitual para além da citada institucionalização na legislação, carecia do suporte metodológico de instrumentos operacionais de apoio à sua implementação. Exige formular Planos nos Estados, associando e integrando a atividade ao Desenvolvimento Sustentável, na forma indicada na nova Lei.

7.7.1 Plano diretor de agricultura irrigada de MG

O planejamento da implementação da política de agricultura irrigada, através de Planos Estaduais de Agricultura Irrigada, iniciou-se antes mesmo da aprovação da lei que os institucionalizou. Os planos, por uma parte, operacionalizam a diretriz de pensar globalmente e agir localmente. Por outro lado, respeitam o fato de a União Federal não possuir território próprio. Os Estados são os titulares, das competências legais e aparatos administrativos da gestão territorial, fornecendo bases e contornos das regras do jogo na agricultura irrigada.

A colaboração mútua entre Estado e Ministério na formulação do PAI-MG incluiu apoio técnico e financeiro do MI, através do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) (PCT-BRA/IICA Agricultura Irrigada em Cenários Sustentáveis). No próprio edital da licitação, que selecionou os responsáveis pelo projeto, consta tratar-se de modelo a ser replicado em outros Estados, exigindo-se a explicitação de metodologias que tornassem a decisão do MI viável. Com novas diretrizes, SENIR/MI revisou a tradição até então vigente, de financiar planos acadêmicos ao feitiço das grandes consultoras de engenharia, tanto em razão deles serem caros como demorados (em seminário público realizado na CNA, autoridades do RS informaram que no momento em que o Rio Grande do Sul discute financiamento para formulação do Plano local - Plano de Irrigação e Usos Múltiplos nas Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul - PIUMA, tiveram aprovada a realização do Plano, com custo estimado em 650 mil reais, quando haviam apresentado ao MI, proposta na ordem de 11,5 milhões de reais). No formato tradicional, o período da formulação era longo, implicando ultrapassar,

muitas vezes, o prazo governamental usual de quatro anos. Assim, o governo do Estado acabava antes do Plano ficar pronto. Os prazos exigidos e o orçamento definido na licitação do PAI-MG, exigiram que as formulações fossem curtas em tempo. Deveriam ser aproveitados dados existentes de estudos anteriores e, especialmente, os resultantes da integração do planejamento da agricultura irrigada com os Planos Estaduais de Recursos Hídricos.

Por outra parte, a SEAPA-MG enxergava como fator mais restritivo à expansão e crescimento da agricultura irrigada, o acesso à água. Para discutir e encontrar soluções, a realização do PAI-MG incorporou e aproveitou dados e conclusões do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-MG). Sendo a formulação conduzida na mesma escala, permitiu a integração e a compatibilização entre os dois instrumentos (PAI-MG e PERH-MG), bem como ter sintonia com o Zoneamento Econômico e Ecológico. Como a água é recurso de suma importância para vários setores (abastecimento humano, saneamento básico, indústria, mineração, hidroenergia, esporte, agricultura irrigada e meio ambiente) os trabalhos foram realizados em sintonia e atuação conjunta de Seapa e Semad.

Mesmo havendo disposição e interesse da SEMAD em realizar a gestão da concessão e renovação das outorgas de água, em tempos hábeis e oportunos, ela não conseguia fazer a entrega tempestiva das licenças. No período de formulação do PAI-MG existia, em tramitação no IGAM/SEMAD, volume da ordem de 150 mil processos associados à outorga da água. Esse enorme volume de processos torna virtualmente impossível, finalizar a tarefa, gerando pressão política permanente sem mudar a realidade.

O processo de formulação agregava, além do Estado, representações dos produtores, de instituições técnicas, consultores e o do próprio MI. As questões tratadas estavam sintonizadas com as reais necessidades dos produtores e do próprio Estado. Tanto que o PAI-MG foi formulado durante o primeiro mandato do Governador Antônio Anastasia, no segundo semestre de 2010. Reeleito, o governador incluiu o Plano e suas diretrizes na Lei Delegada 180, de janeiro de 2011.

Objetiva-se encontrar soluções que pudessem equacionar e resolver a trava ambiental para permitir a expansão da atividade. Vale sugerir a leitura, pelo menos, da Síntese Executiva publicada pelo MI em articulação com o Estado: Minas, Agricultura e Água - Desafios e Oportunidades da Mudança Climática, da Segurança Alimentar e da Renda dos Produtores.

7.7.1.1 Territórios de agricultura irrigada em MG

A gestão territorial da agricultura irrigada de Minas foi equacionada na formulação e estruturação dos territórios de agricultura irrigada. Foram concebidos para incentivar e organizar espaços comuns de colaboração, entre os agricultores com senso de pertencimento ao espaço definido. Busca-se a gestão da sustentabilidade do processo em cada área individual e no conjunto ou sub bacia. Apresenta-se, como exemplo de informação trabalhada na estruturação do TAI do Paranaíba, (a estruturação do TAI do Paranaíba respondeu a demandas de associações de uso da água e da própria Federação dos Cafeicultores do Cerrado à SEAPA. Buscava-se solução para problemas recorrentes na concessão e renovação de outorgas pela SEMAD), as unidades de paisagem de uma de suas sub-bacias. Por uma parte, conhecer e interpretar as unidades de paisagem na bacia do Rio Claro (Figura 3) é essencial na gestão integrada do espaço.

De outro lado, o funcionamento de transposição no Rio Claro para o Rio Uberaba, para complementar e viabilizar o fornecimento de água à população de Uberaba, demonstra a complexidade das negociações exigidas dos agricultores irrigantes em áreas em que o uso múltiplo local (abastecimento humano) seja prioritário.

A responsabilidade na gestão territorial do conjunto de propriedades para garantir saúde ambiental e aumento na disponibilidade de água, naquele espaço, passa a ser coletiva e de interesse comum. Ou seja, o negócio ambiental do território é compartilhado entre os usuários e, como no caso mencionado do Rio Claro, exige organização, conhecimento, dados e capacidade de negociação. A atividade produtiva e comercial, de cada propriedade, é gerida por cada interessado, diretamente como é usual. Na evolução, a gestão comercial e produtiva pode ser objeto de ação conjunta e colaboração ao estilo de *clusters* ou aglomerações de empresas/produtores.

Além da observância às características citadas, foram determinantes na estruturação dos territórios, as seguintes considerações: (i) resgatar e ampliar o uso da tradição ambiental da agricultura mencionada no presente, (ii) incorporar ao processo a visão construída em Minas, dos agricultores serem responsáveis pela gestão dos espaços de suas unidades produtivas com apoio nos Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), e (iii) estruturar, nas sub bacias abrangidas pelo TAI, a conservação e gestão das águas e dos solos, das nascentes e da vegetação, numa lógica coletiva do território. Não apenas na individualidade da propriedade.

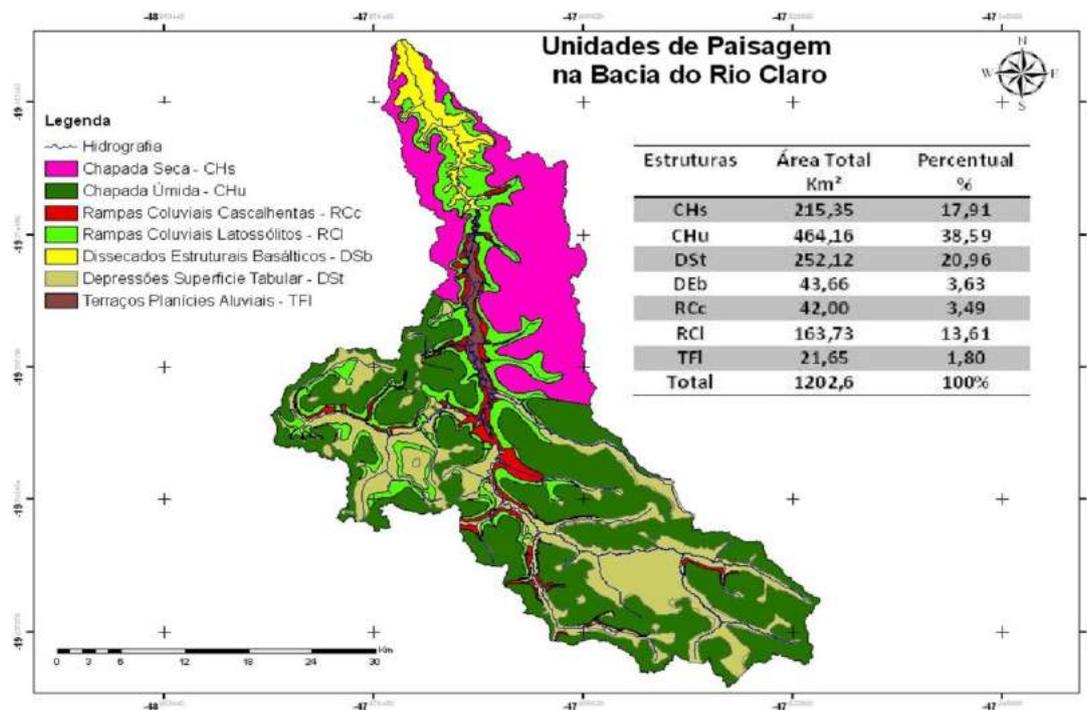


Figura 3. Mapa de unidades de paisagem na bacia do Rio Claro.

Na formulação da estruturação dos TAIs foi avaliada a dinâmica e a abrangência dos projetos desenvolvidos pela ANA, conhecidos como "Produtor de Água". Concluiu-se pela recomendação dos espaços respectivos terem tamanho, entre 70 mil e 150 mil hectares por projeto. Depois de examinar sugestões e propostas existentes, optou-se por utilizar experiência mineira e a solução que as autoridades ambientais do Estado implementaram na resolução de conflito entre usuários de água no Ribeirão Entre Ribeiros, no município de Paracatu (a entrega da gestão da água na sub bacia aos agricultores, pelo IGAM, em sintonia com o Ministério Público, exigiu a instalação de estações meteorológicas e outros equipamentos além de processos de gestão da água. Implementou-se, na prática, a outorga coletiva naquele Território). O Instituto de Gestão das Águas-IGAM, em articulação com o Ministério Público, entregou aos agricultores a gestão do espaço e a alocação de água, entre

eles, iluminando e fundamentando a organização do projeto de Territórios de Agricultura Irrigada.

Instituíram-se as bases da realização de outorga coletiva, por sub-bacia, com potencial para eliminar, ao longo do tempo, o trâmite de mais de 100 mil documentos por ano, relativos a pedidos novos ou renovação de outorga de água. A inovação institucional proposta permite a realização da gestão das águas, através de 600/700 sub bacias no Estado de Minas. Salvo em casos excepcionais, a maior parte do licenciamento ambiental dos empreendimentos de agricultura irrigada pode ocorrer no mesmo formato coletivo imaginado para as outorgas.

O fundamento essencial é o acompanhamento dos TAIs segundo indicadores e parâmetros previamente estipulados, sendo possível um indicador de síntese, focalizado no aumento ou diminuição na disponibilidade de água nas sub bacias. Essas medições, de interesse do estado e dos produtores, seriam realizadas apenas no exultório, nos períodos acordados. Aferir o volume e a qualidade da água em face do que tenha sido estabelecido, em regulamentação ou contrato de gestão territorial, é crítico para calibrar a gestão da concessão da outorga e/ou do licenciamento ambiental, coletivos.

Todo esse processo de construção do conhecimento da realidade de determinada sub-bacia e seus de atores locais/regionais constitui a oportunidade e o próprio caminho para a pactuação sobre a gestão do território microrregional e das respectivas unidades de produção. Seja pactuação para prevenir ou solucionar conflitos.

No interior do TAI ou da sub-bacia, sob gestão dos próprios agricultores, o uso e a distribuição da água são equacionados entre eles; instituindo-se as bases de mercados locais de água bruta. (há em tramitação no Senado Federal, proposta do Senador Tasso Jereissati, instituindo mercados de água. Na edição de 17.12.2020, o UOL noticia que estão sendo vendidas quotas de água numa das bolsas de valores norte-americana. Menciona que o índice Nasdaq Veles California *Water* (NQH2O) foi criado em 2018 pelas empresas Veles *Water* e *WestWater Research* em parceria com a Nasdaq). Valorizar a água é garantir sua conservação.

Os componentes essenciais dos Territórios de Agricultura Irrigada são: (i) Sub-bacia como Unidade de Gestão da AI; (ii) Norma de Gestão para os Empreendimentos de AI; (iii) Engenharia Econômica, Financeira e Jurídica; (iv) Competências para uma Cultura da Agricultura Irrigada; (v) Relatório de Sustentabilidade da Política; e (vi) Governança Territorial.

Sub-bacia como Unidade de Gestão da AI de forma institucionalizada, que permita integrar e agilizar todos os processos autorizativos da área ambiental. Estabelece condicionantes sistêmicas relacionadas à sustentabilidade da AI e leva em conta a mitigação dos seus riscos, ao tempo em que avalia suas contribuições socioambientais.

O potencial de ganhos na disponibilidade de água, através de sua conservação e dos solos, pode enfrentar limites que tornem necessária a reservação em barramentos ao longo da sub-bacia. Esse potencial de reservação de água deve ser fundamentado em estudos geológicos detalhados. O foco é orientar a localização, o financiamento e a realização das obras. Por outro lado, a pactuação entre os agricultores é essencial para o ajuste fino na distribuição de custos, seja em obras de reservação, seja na recuperação ambiental.

Neste contexto, nos trabalhos conjuntos de SEAPA-MG e SEMAD-MG, houve a estruturação do Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) que faz diagnóstico da sub-bacia em estudo, permitindo a pactuação entre os integrantes do Território da Agricultura Irrigada (TAI) com vistas ao plano adequação socioeconômica e ambiental da área do TAI. O ZAP é uma metodologia que une o levantamento do uso da terra, balanço hidrológico e unidades de paisagem permitindo fazer a correlação entre eles dentro de um TAI, identificando a execução de ações nas fases seguintes:

Norma de Gestão para os Empreendimentos de AI, elaborada dentro dos requisitos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para contribuir na melhoria da qualidade dos alimentos e obtenção de mercados, pela redução de atuais barreiras técnicas à exportação.

Instrumentaliza e orienta o processo de qualificação e certificação das cadeias produtivas, como forma de promover suas capacidades de integração, comunicação e negociação, bem como a certificação da Bacia como praticante de agricultura e pecuária sustentáveis.

Engenharia Econômica, Financeira e Jurídica: a complexidade dos processos e necessidades de determinado TAI, incluindo a composição dos seus integrantes, exige a escolha dos instrumentos e soluções institucionais mais adequados a cada tipo de situação. A estruturação de um grupo executivo como parte do processo de governança do PAI-MG pode ser implementada (na implementação do Plano de Metas, do presidente Juscelino Kubitschek, vários desses grupos executivos foram organizados, logrando muitos êxitos, a exemplo do grupo Executivo da Indústria Automobilística de sucesso inquestionável) apoiando a implementação de Planos de Adequação Socioeconômica e Ambiental de TAIs.

O grupo deverá cuidar de institucionalizar novas modalidades de amortização, manutenção e financiamento das infraestruturas públicas hidro agrícolas, sejam perímetros ou empreendimentos sociais (perímetros irrigados e barragens de uso coletivo e múltiplo), além de contribuir na definição de condicionantes ambientais exigidas nos licenciamentos de empreendimentos coletivos.

Competências para uma Cultura da Agricultura Irrigada: serão priorizadas as situações em que o uso das águas cria valor para as famílias sem deslocá-las de suas atuais produções. A referência é o alto Valor Básico da Produção por hectare por ano ($VBP\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) obtido na serra da Mantiqueira, onde não falta água.

Trata-se de desenvolver a cultura empreendedora, ou seja, o básico de qualquer competência: realizar um saber de maneira adaptada ao seu contexto. Permite que a cadeia produtiva se organize pautada em seu desempenho e em sua capacidade de identificar e corrigir as falhas. O baixo padrão de empreendimento explica, ao menos em parte, como a maior parte do valor agregado pelo café fica com os importadores, deixando para os nossos produtores e o País, parte diminuta.

Relatório de Sustentabilidade da Política: o intuito é caracterizar o negócio Agricultura Irrigada de maneira que possibilite a comparação e negociação com as outras categorias de usuários de água. Busca relações com as diretrizes gerais do governo e avalia o seu desempenho como Política de Estado.

A Governança Territorial em diversas escalas (TAI, Região, Estado e União) pode contribuir de forma relevante na estruturação, equacionamento da agricultura irrigada tropical, de caráter industrial e funcionamento permanente. O sistema de gestão e indicadores do PAI-MG contempla medições e avaliações econômicas e ambientais.

7.7.1.2 Contribuições da Embrapa e outros parceiros institucionais em MG

A tradição em formulações e o desejo de solucionar os problemas em Minas fizeram com que se buscasse, além dos consultores supridos pelo IICA, participação de várias instituições técnicas. Mobilizaram-se a Empresa Mineira de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), Empresa Mineira de Pesquisa Agropecuária (Epamig) e pessoal da própria Seapa-MG, além técnicos da SEMAD e do IGAM que se envolveram com os trabalhos. Ainda do Estado, estavam presentes professores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), bem como pessoal da Embrapa Milho e Sorgo com atuação ambiental reconhecida. Ao lado de técnicos, especialistas e pesquisadores

participaram representantes dos produtores, principalmente através de associações de uso da água.

No contexto, a Seapa-MG firmou convênio com a Embrapa, integrando a participação aos trabalhos do PAI-MG de cientistas e pesquisadores de sua sede e outros Centros, como a Embrapa CPAC, localizada em Planaltina, Embrapa Hortaliças na BR 060, em Brasília, e Embrapa Instrumentação de São Carlos. Aspectos associados à descontinuidade administrativa patrocinada pela Senir/MI, praticamente, impediram o exame e apropriação dos resultados da reflexão e trabalhos realizados em conjunto com a Embrapa.

7.7.1.3 Planos de adequação socioeconômica e ambiental e os indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas

Já foi registrado que o desenvolvimento dos Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas estava em curso quando se iniciou a formulação do PAI-MG.

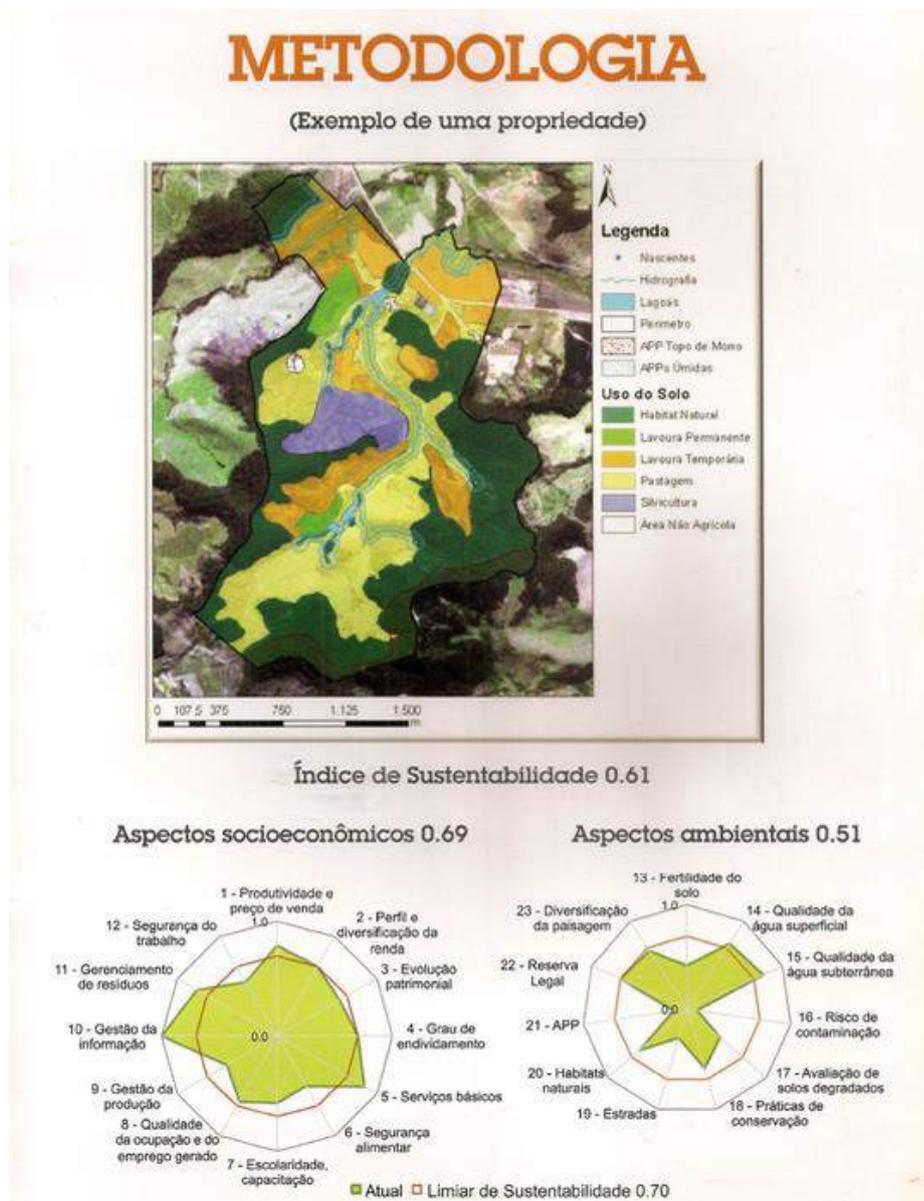


Figura 4. Metodologia para aferição do índice de sustentabilidade em propriedades rurais.

A participação de vários técnicos, pesquisadores e agricultores no processo permitiu o pleno conhecimento da utilidade da ferramenta, bem como do aprendizado da parte dos participantes do potencial de retorno do econômico e ambiental, do processo estruturado no ISA. Mesmo que ainda seja restrita a compreensão sobre a sustentabilidade, está claro para muitos, o avanço nas mudanças do clima com repercussões nas explorações agropecuárias.

A Figura 4 (Metodologia) descreve os aspectos avaliados nas propriedades onde são aplicados os indicadores e tomadas as medidas corretivas recomendadas.

Os indicadores de sustentabilidade permitem que Planos de Adequação Socioeconômica e Ambiental de TAIs, ou de outras naturezas de território, sejam elaborados com base em conhecimento empírico e não em impressões ou percepções. Trata-se de ir refinando os processos e métodos que permitam, cada vez mais, tratar de forma objetiva e operacional a sustentabilidade. A existência da ferramenta é um legado de Minas, perfeitamente customizável para outros Estados e realidades brasileiras. Registrar o sentido da Figura 4 mostra a natureza dos elementos avaliados e a possibilidade de medições programadas ao longo do tempo, permitindo avaliar a evolução se positiva ou negativa. A hipótese é ir gradativamente colocando as propriedades avaliadas na melhoria contínua.

7.7.1.4 Zoneamento ambiental e produtivo em MG

Deve-se destacar o processo de desenvolvimento do Zoneamento Ambiental e Produtivo que reuniu, durante quase dois anos, grupo técnico de SEAPA-MG e SEMAD-MG, consultores e representantes técnicos de instituições públicas e do setor privado, já mencionadas. O foco na construção da ferramenta foi a integração entre as abordagens produtiva e ambiental facilitando trabalhos conjuntos de SEMAD e SEAPA.



Figura 5. Detalhamento da metodologia do ZAP.

As informações coletadas e tratadas (Figura 5) fornecem as diretrizes.

O conjunto de informações permite avaliar as ações necessárias e os custos, com vistas à Adequação Socioeconômica e Ambiental do espaço. O fato de serem oficiais os dados para a área produtiva (Seapa) e ambiental (Semad/Fundação Estadual do Meio Ambiente-FEAM) amplia a credibilidade do ZAP.

No contexto, houve confluência na compreensão das ferramentas incluídas no ZAP como eixo da inovação institucional proposta, de mudar a concessão das outorgas individuais, para coletivas em sub-bacias. Ademais, consagra mecanismo de apoio à pactuação, entre os produtores de determinada sub-bacia. É a base para implementação do Plano de Adequação Socioeconômica e Ambiental do território respectivo. A pactuação é essencial por ajustar o formato de distribuição dos custos a incorrer nas adequações ambientais, tornando-se elemento essencial, na organização da engenharia financeira que vai sustentar o referido Plano de Adequação para garantir o aumento da disponibilidade de água na bacia.

O Zap facilita a universalização de métodos e processos transparentes. Como ferramenta tecnológica tem as seguintes premissas e características principais: (i) ter custo acessível; (ii) ser simples sem ser trivial; (iii) usar *softwares* livres e imagens de satélites gratuitas (Qgis; Imagens Sentinel); (iv) ser de livre acesso a todos, e (v) trabalhar com dados secundários.

Os métodos incorporados ao ZAP se baseiam em três abordagens: (i) exame sobre o uso da terra e do solo determinando com o detalhe possível, todas as áreas de pastagens; solos expostos; cobertura vegetal nativa; áreas de APP, áreas com culturas anuais, culturas perenes, irrigadas por pivô central e áreas urbanas; (ii) balanço hidrológico dentro da bacia verificando disponibilidade e uso por trecho de rio utilizando bases de dados da ANA em MG e do IGAM; e (iii) unidades de paisagem que verificam o maior ou menor potencial de uso de determinada área dentro do espaço territorial da sub-bacia.

Com o cruzamento das informações, é possível determinar quais são os problemas mais críticos do território e as melhores soluções. Pode-se chegar à avaliação dos recursos necessários para implementar as intervenções, como o eixo do Plano de Adequação Socioeconômica e Ambiental da bacia em foco.

No contexto de acesso à água, os trabalhos com o ZAP podem contribuir na organização da reservação de água, que inclua até mesmo a construção de barragens ao longo da sub-bacia. O foco é gerar capacidade de armazenar água suficiente para regularizar a vazão e disponibilizá-la para os usuários integrados à gestão da bacia. No conjunto, as proposições advindas do uso do ZAP são aderentes ao objetivo de aumentar a disponibilidade de água na bacia.

O ZAP nasceu como contribuição essencial para as diretrizes de ordenamento e organização territorial no marco das bacias hidrográficas com o objetivo juntar Semad e Seapa no encaminhamento de soluções territoriais e coletivas, aglutinando interessados, sob a coordenação e regulação públicas. Essa importante ferramenta de gestão pode ser aplicada nos processos de regularização ambiental, fundamentando ações no processo de evolução (Figura 6). É movimento coerente com as estratégias de sustentabilidade das bacias hidrográficas caracterizadas nas 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) do Estado.

A relevância de um olhar prospectivo indicando processos de recuperação da bacia, com vistas até mesmo à futura certificação da sustentabilidade (entre os processos que estiveram em cogitação no período de construção da política de agricultura irrigada destaca-se a possibilidade de construir, no âmbito da ABNT, a normalização dos processos com vistas à certificação de sub-bacias), evidencia o potencial de uso conjunto da ferramenta pela área ambiental e por usuários de água, independente do setor. A evolução (Figura 6) permite a interação e o compartilhamento de soluções entre as partes interessadas.

Depois de ajustes técnicos e larga tramitação, o ZAP foi institucionalizado como ferramenta, pelo Decreto 46.650 de 19 de novembro de 2014, focalizando seu uso entre Semad e Seapa. Mesmo com a descontinuidade na política de agricultura irrigada do MI que

o gerou e a consequente redução das ações do PAI-MG, a metodologia continuou a ser aplicada no Estado. Pena que ainda não seja focalizada em cumprir sua função precípua, de avançar na atuação coordenada de Seapa e Semad, tornando a aplicação da lei ambiental mais próxima dos interesses coletivos e não da armadilha do controle pela punição ou da interdição administrativa do uso da água.



Figura 6. Evolução Projetada para o processo do ZAP.

7.8 Plano de irrigação e uso múltiplo de água nas bacias hidrográficas do RS

Paralelamente ao desenvolvimento do PAI-MG, alguns Estados se articularam com a então recém instituída Senir/MI. Sua estruturação ocorreu como parte do mesmo esforço de articulação e trabalho conjunto que resultaram na realização do Seminário Nacional - Agricultura Irrigada e o Desenvolvimento Sustentável e instalação do Fórum Nacional de Agricultura Irrigada durante o evento, bem como na aprovação posterior, pelo parlamento, da nova lei da agricultura irrigada.

Na busca por expandir a compreensão do novo marco conceitual, a Senir/MI orientava os Estados sobre o PAI-MG como modelo. No contexto, licitou, através do IICA e do mesmo PCT, a realização do Piuma-RS. A proposição de organizar a gestão da agricultura irrigada em bacias hidrográficas e foco nos usos múltiplos da água foi perfeitamente acolhida. Tanto que posteriormente as diretrizes e orientações do Piuma-RS foram incluídas na Lei Estadual 14328/2013, conferindo ao Plano o status de política pública local.

Deve-se registrar a concepção e início de implementação de Territórios de Agricultura Irrigada (Tiuma). Autoridades do RS e MG chegaram a iniciar, no âmbito da Cooperação Federativa que a Senir/MI coordenava, processo de harmonização da regulamentação técnica (outorga de água, licenciamento ambiental, regras fitossanitárias) vigente em ambos Estados. A saída da Senir/MI do processo significou a debandada da instituição promotora da política que se estruturava, deixando os Estados atônitos. Afinal, estavam programados entendimentos e troca de experiência sobre aspectos chave como cultivares, mercados para consolidar a colaboração tecnológica entre os Estados.

A posterior extinção da Senir/MI implicou na agregação das respectivas competências a outras estruturas, incluindo o atual Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Nessas instâncias sucessoras da Senir/MI ainda não se produziu a retomada da política de agricultura irrigada.

7.9 Plano de irrigação nas bacias hidrográficas do MS

Na mesma linha de replicar os conceitos e métodos do PAI-MG, celebrou-se, em 12 de novembro de 2012, o Acordo de Cooperação Técnica com vistas à elaboração do PIB-MS. Compareceram à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Agrário, da Produção, da Indústria, do Comércio e do Turismo (Seprotur) e a Senir/MI. O citado PCT, vigente entre Senir/MI e IICA, licitou e contratou a realização dos trabalhos.

Mudanças administrativas no MI levaram à saída dos principais técnicos e dirigentes, resultando em imbrólio institucional que não tem permitido o uso das propostas contidas no PIB-MS, embora estejam alinhadas à consolidação de uma política para o setor no Estado. Formulado com foco na ampliação das disponibilidades hídricas, em sintonia com o PAI-MG - e Piuma-RS, o PIB-MS permanece hígido. Há avaliações de que ainda é pertinente à realidade local, inclusive em face do recente desastre pantaneiro. É uma opção de ação pelos atores das bacias hidrográficas na solução de problemas atuais no pantanal.

Ao mesmo tempo, a agricultura irrigada pode induzir e promover o aumento da produção, da renda e do emprego no Estado. Cita-se para exame e consideração o volume de emprego e investimentos gerados em novos projetos no Estado, em prosseguimento e decorrência do Plano Estadual para o Desenvolvimento Sustentável de Florestas Plantadas, que antecedeu ao PIB-MS.

7.10 Licitação dos planos do CE, PE, BA e ES

A busca pela consolidação da Política de Agricultura Irrigada era prioridade no governo sob a liderança da Senir/MI, que seguia replicando nos Estados a metodologia e o processo desenvolvidos no PAI-MG. A concorrência 50/2013 licitou os planos de mais quatro estados. A manutenção de planejamento duradouro nos Estados, na forma estabelecida na nova Lei, reforça e orienta a mobilização dos atores, organizando o processo de expansão da atividade.

Aos Estados do Nordeste eles ensejam oportunidades ímpares na organização dos produtores, ensejando engenharia financeira com as obras hídricas disponibilizadas para a agricultura irrigada. Trata-se de permitir a saída da União das obras, transferindo a gestão às partes interessadas, ao tempo em que capitaliza a região com os investimentos já realizados pela União. O foco deve ser na organização de mecanismos de agregação nos moldes de empresas-âncora com funções semelhantes às das cooperativas e empresas integradoras no Sul do País, especialmente no acesso aos mercados.

Cabe destacar que o processo licitatório para os Planos (CE, PE, BA e ES) consumiu tempo na preparação de termos de referência, obteve sucesso alocando recursos necessários ao IICA para efetivar a contratação. As mudanças administrativas na SENIR turvaram o processo, cancelando a assinatura do contrato sem que se saibam os motivos.

7.11 Colaboração e cooperação federativa na consolidação da política de agricultura irrigada

Ainda no movimento de buscar a consolidação da política de agricultura irrigada empreendida pelo MI no período 2009/2014, a Senir/MI licitou o estudo das Tendências e Oportunidades da Agricultura Irrigada. Com foco na integração a outras políticas governamentais, foram elaboradas notas técnicas: Apoio do Mapa do Desenvolvimento Sustentável da Agricultura Irrigada; A Política Nacional de Agricultura Irrigada e a Política Ambiental; Agricultura Irrigada e as Mudanças Climáticas; Estratégias de Planejamento da Agricultura Irrigada; Governança da Política Nacional de Agricultura Irrigada e de Territórios de Irrigação; Tecnologias Sociais e Segurança Alimentar; Defesa Agropecuária; Energia para

Irrigação no Brasil - elétrica, eólica, solar, de biocombustíveis e de combustíveis; Recursos Hídricos e Segurança Hídrica; Planos de Safra - A Ótica da Agricultura Irrigada e dos Mercados; O Brasil e o Comércio Agrícola Mundial: acesso a mercados.

A estratégia integrava e harmonizava políticas públicas pertinentes gerando sinergia com a de agricultura irrigada. Configurava e estruturava os elementos de que a SENIR/MI necessitava para exercer liderança na cooperação federativa com os Estados, buscando melhoria no marco regulatório.

A expansão buscada exige ações coordenadas entre Estados e União destacando-se a abertura e manutenção de mercados. Por um lado, a agricultura irrigada trabalha produtos com maiores limitações nas quantidades consumidas exceto as *commodities*. Por outra parte, os produtos são diferenciados e, cada vez mais, exigentes em capacitação tecnológica para produzir e vender sob marcas e selos de qualidade.

Outro registro a destacar no estudo foi a inclusão da Plataforma Informatizada da Agricultura Irrigada no escopo. A Senir buscou facilitar e institucionalizar as interações. A facilidade digital fomentava a Cooperação Federativa integrando processos produtivos e ambientais. As bases da interação foram previamente estruturadas construindo-se os *sites* de cada Plano/Estado. A visualização dos processos na Figura 7 - Logística de Rede deixa evidente o potencial de trabalho conjunto.



Figura 7. Logística de Rede.

O arranjo em Rede permite a interação entre Estados e respectivos Territórios Agricultura Irrigada abrigando o funcionamento de Fábrica de Projetos. A utilização de *softwares* compatíveis com os utilizados no Ministério do Meio Ambiente e Planos Estaduais de Recursos Hídricos facilitava aos grupos de locais diversos a trabalharem colaborativamente. Seja na gestão territorial ou na preparação de projetos para financiar ações, a logística de rede fortalece a governança do setor, ampliando a abrangência do Fórum Nacional de Agricultura Irrigada quando retomado.

São mecanismos para superar as reconhecidas dificuldades fiscais e penúria financeira, na maioria dos Estados pela mútua colaboração. Ademais, mesmo que a União Federal também padeça do mesmo mal, ainda há em seu âmbito, alguma margem de manobra. Sem falar que o aprofundamento na implementação da política de agricultura irrigada tende a expandir seu tamanho gerando renda, emprego e impostos, além de gradativo alívio fiscal pela desestatização e gestão privada de obras hídricas.

7.12 Perspectiva da política de agricultura irrigada harmonizada à área ambiental

Avaliação atual da Esalq-GPP/FAO/MDR registra potencial superior a 50 milhões de hectares com solos e água disponíveis para irrigação. Um desafio para superação em décadas. Entretanto, o mesmo estudo enfatiza que a oferta de fatores, incluindo energias, estradas, mercado, etc. suportam afirmar a viabilidade de duplicação da atual área irrigada estimada em 7,3 milhões de hectares num prazo de dez anos. Aí está considerada a capacidade autodeclarada de oferta de equipamentos produzidos pela indústria nacional.

7.12.1 Políticas públicas voltadas para agricultura irrigada sustentável

Os múltiplos usos da água geram necessidade de arbitragem do processo pelo Estado, defendendo o interesse comum. Há vários anos, o Brasil e outros países editaram leis, decretos e regulamentos públicos. Buscam garantir o acesso de todos ao recurso de forma equânime através de regras, cotas e outros parâmetros que controlam o uso. Não obstante, há a percepção de que a estruturação da legislação ambiental e da gestão de recursos hídricos nos Estados, ensejaram uma trava ambiental. Essa, pelo menos em parte, explica a situação atual de baixo uso do potencial brasileiro.

A Agricultura Irrigada depende de dois Ministérios no Governo Federal, MDR e Mapa. Pode ser uma vantagem, ou tornar-se uma desvantagem para o setor; sob dois comandos as coisas não fluem muito bem. Tanto, que ainda não se observam nas políticas Nacional e Estaduais das águas ações específicas voltadas à agricultura irrigada. A política precisa se tornar de Estado, sendo consolidada em mecanismos de governança, entre o público e o privado. São interconexões institucionais críticas ao funcionamento do conjunto.

A necessidade de estruturar e consolidar políticas específicas para o setor foi contemplada no citado estudo das tendências e oportunidades mencionado no item X do presente. Como o país cuidou do assunto de forma descontinuada é de grande relevância resgatar e consolidar o esforço de planejamento desenvolvido entre 2009 e 2014 referido ao longo do presente.

Embora seja percebida como a principal usuária e consumidora de recursos hídricos, pode demonstrar que água utilizada volta para o ciclo hidrológico. Dados, informações e conhecimento podem mudar a percepção de Agricultura Irrigada associada a situações impactantes, como erosão do solo e à poluição ambiental. A reputação deve ser alcançada, de forma ética, por meio da maximização do benefício líquido para a sociedade, sempre considerando custos e benefícios atuais e futuros.

7.12.2 Construção da agricultura irrigada tropical sustentável

O propósito é sistematizar como atividade permanente ao longo do ano, em formato industrial. Exige atenção em todas as etapas envolvidas no processo, desde o planejamento, o projeto, da seleção das culturas à escolha das técnicas de produção, a instalação, operação e manutenção dos equipamentos no campo, além do manejo da própria água.

Na irrigação, o emprego de tecnologias avançadas como o uso de cultivares selecionados ou melhorados geneticamente, por exemplo, pode alcançar expressivos aumentos de produção e de produtividade. A seleção e a priorização de culturas a serem irrigadas também devem ser itens fundamentais para a tomada de decisão quanto ao uso dos recursos hídricos. Esses processos devem ser precedidos de rigorosa análise da relação custo-benefício, pois, além da água ser um recurso nobre e cada vez mais escasso, há no país potencial para aumento da produção e da produtividade da agricultura de sequeiro

(FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2016), relacionada à produção de *commodities*, como a soja e o milho.

7.12.2.1 Bases e alicerces do avanço e aprendizados

Para contextualizar a agricultura irrigada brasileira no momento atual, devemos considerá-la a partir de grandes ciclos: cana-de-açúcar, borracha, algodão e principalmente do café, que foi o principal motor da economia brasileira. A década de 60 foi marcada por uma produção um pouco mais diversificada, típica de sequeiro, baseada no atendimento ao mercado interno, exceto o café. Ainda baseava a expansão dos plantios nas chamadas terra de cultura resultantes da supressão da Mata Atlântica. A busca era a produção. A agricultura da década de 60 para frente, experimentou pressão de forte na demanda pela intensificação da urbanização no país. Nos anos 70 o Brasil importava 30% dos alimentos que consumia. Foi marcante, também, o início da busca por produtos brasileiros, como no caso do Japão, pela necessidade de diversificar fontes de suprimento por razões geopolíticas. Inicia-se uma fase muito dinâmica, rica e complexa que requereu, ao mesmo tempo, a combinação da expansão da fronteira agrícola com a modernização da agricultura.

A introdução de áreas do bioma Cerrados, como a nova fronteira agrícola foi um marco. Por suas características de solo, naturalmente depauperado, exigia para sua mobilização como solo agrícola, altos investimentos além de boa gestão e tecnologia. Falava-se em: "recuperação dos cerrados" e "a agricultura dos cerrados, para ser viável, tem que nascer moderna". A palavra-chave era "produtividade". E nessa direção destaca-se o início da valorização da irrigação como estratégia para produzir maior quantidade, com segurança, na mesma área.

Nesse contexto foi criada e implementada a Embrapa, como coordenadora do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, comprovando a essencialidade do conhecimento científico como base para o desenvolvimento tecnológico.

Assim se desenvolveu o estágio atual de agricultura tropical liderada pelo Brasil. Impulsionado pelo movimento ambientalista, desde 1972, evoluiu o paradigma da sustentabilidade. O marco relevante no Brasil, foi a Rio 92, estabelecendo pactuação entre 156 países na Conferência Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.

Apesar da sustentabilidade ter como primeira motivação o componente de caráter ambiental, foram agregados dois outros elementos também mensuráveis: o social e o econômico. Dos anos 90 para cá, já existe aferição da sustentabilidade e rastreabilidade dos produtos, portanto, o conhecimento da origem e dos processos produtivos. Atualmente há intensificação tecnológica com georreferenciamento e mensuração da sustentabilidade como exigência de mercado.

A aferição da sustentabilidade com as ferramentas teóricas dos sistemas de gestão, ainda são pouco realizadas, por custo e complexidade. Contribuições compreensíveis, replicáveis e de baixo custo foram construídas e sintetizadas, na elaboração do Plano de Agricultura Irrigada em Minas Gerais- PAI. São consistentes, de baixo custo, amigáveis as importantes ferramentas de aferição de sustentabilidade em bases territoriais, a saber: ZAP - Zoneamento Ambiental e Produtivo, tendo uma sub-bacia como referência, e o ISA - Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas, aplicáveis às unidades produtivas/fazendas em que o proprietário deve ser considerado gestor do território.

Essas ferramentas inovadoras são extremamente práticas, facilitando ao produtor, ao mercado e à sociedade o acompanhamento do processo de produção e da gestão ambiental, seja ela de responsabilidade individual ou coletiva. Os parâmetros considerados podem ser aprimorados e customizados para formular indicação geográfica e outros procedimentos de valorização dos produtos de determinada região. São ferramentas fundamentais na qualificação e planejamento da gestão territorial.

A integração multiplica potencial das ferramentas que podem ser integradas a plataformas públicas a exemplo do PronaSolos (estruturada com dados do IBGE, CPRM, EMBRAPA e Mapa, entre outros, a plataforma sistematiza e disponibiliza sistema de informações relativo ao Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos no Brasil, contendo também conhecimento sobre diferentes assuntos), recentemente disponibilizada, facilitando o acesso ao conhecimento regional. Reduz em muito o custo e melhora a velocidade de geração de novos mapas de situação do território. A partir desse diagnóstico e avaliação, são elaborados com experiências regionais e até locais, os planos de adequação socioeconômica e ambiental, eliminando as vulnerabilidades constatadas para ressaltar as potencialidades e propor soluções construídas com os gestores territoriais. Tais soluções também podem ser articuladas com demandas legais ou não, como é o caso do CAR - Cadastro Ambiental Rural, ou aquelas relacionadas à conservação e manejo da água e do solo, sequestro de carbono, relações trabalhistas, qualidade de gestão e outras.

São obviamente detalhes, mas fundamentais para assegurar a qualidade do planejamento e da gestão, seja para prevenir ou para resolver situações até mesmo de conflito, como é o caso, muito comum, relacionado ao uso da água. Em essência, ISA e ZAP são instrumentos que contribuem muito para o planejamento assegurando melhor uso dos recursos e mais efetiva gestão de território.

7.12.2.2 Consolidação da agricultura irrigada

Muito embora já tenhamos grupos de produtores que trabalham com cultivos e processos desenvolvidos sob condições tropicais, ainda somos, em muitos casos, reféns da agricultura temperada originada na Europa e Estados Unidos. O aprofundamento e a sistematização do conjunto de formulações, da Senir/MI, no referido período de 2009/2014, combinados a alguns levantamentos e pesquisas expeditas de boas práticas de agricultura Irrigada, podem ensejar a organização e sistematização dos processos. O conjunto pode ser organizado na publicação de guias, textos e outros materiais, bem como disponibilizados em plataforma que facilite o acesso aos processos, facilitando a formulação e o financiamento de projetos.

Trata-se de organizar o compromisso de produzir com responsabilidade e preceitos de sustentabilidade aproveitando o potencial da agricultura irrigada no Brasil, considerando mais do que a existência de água, solo e clima favoráveis. A exploração adequada e duradoura é sustentável, incluindo práticas, atividades, interações e conceitos próprios, inerentes aos regimes intensivos de produção de custeio mais elevado, embora os custos gerem benefícios proporcionalmente maiores. Na expansão da agricultura irrigada, um dos focos serão os cerca de 55 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014) já ocupados pela agricultura de sequeiro. Também deve-se olhar as áreas de pastagens, ocupando próximo de 160 milhões de hectares, dos quais cerca de 30 milhões, com algum grau de degradação. Ou seja, investir em agricultura irrigada sustentável não significa necessariamente buscar novas fronteiras agrícolas, ou desmatar áreas intocadas. Pelo contrário, significa, antes de mais nada, empregar novas tecnologias e intensificar a produção em áreas de agricultura e pecuária já existentes.

Outra possibilidade do Brasil é beneficiar-se das grandes áreas de afloramento de aquíferos no país, que podem, ao menos em tese, ser incorporadas ao processo produtivo. Ressalta-se que essas áreas são consideradas de alta vulnerabilidade natural e que esse cenário exige medidas severas e imediatas. Deve-se evitar que, a partir dessas áreas, ocorram comprometimentos na disponibilidade e/ou da qualidade das águas subterrâneas, o que deve ser evitado a todo custo quando se pratica agricultura sustentável (GOMES, 2008).

A sistematização da agricultura irrigada tropical referida deve juntar modernos processos tecnológicos que podem e que já estão sendo empregados para aumentar a eficiência de diferentes sistemas de produção irrigados, seja na agricultura convencional, no plantio direto, na fixação biológica de nitrogênio, na rotação de culturas, na agricultura orgânica, em sistemas de produção integrados, na integração lavoura-pecuária-floresta plantada (ILPF) e em sistemas agroflorestais. Com o aperfeiçoamento e aumento de eficiência das técnicas e dos processos de irrigação, mesmo em áreas atualmente já irrigadas, por meio da introdução de sistemas e métodos mais eficientes e tecnologias modernas para o manejo adequado da água e do solo, novas áreas poderão ser incorporadas ao processo produtivo sem necessidade de aumento da disponibilidade hídrica.

Entre as ferramentas que podem ser mobilizadas, na estruturação dessa expressão nacional de uma agricultura irrigada sustentável e competitiva além de descarbonizante, estão os instrumentos de medição e gestão desenvolvidos em Minas Gerais. Sejam os indicadores de gestão e acompanhamento das metas, incluídos no PAI-MG, sejam as ferramentas específicas desenvolvidas para viabilizar a gestão pública coordenada e integrada entre Seapa e Semad.

Destaca-se o Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) que, mesmo sem a prioridade e foco originais, continua sendo utilizado. Hoje já são quase 1 milhão de hectares levantados em 20 sub-bacias, em todas as regiões do Estado. São aplicações para várias finalidades mencionadas abaixo: (i) Conjunto de sub bacias em trecho do alto rio Doce. Elaborado pela Emater. Algumas ações estão sendo realizadas no contexto da recuperação do acidente, pelo IEF, Emater e os próprios técnicos da Fundação Renova; (ii) Conjunto das sub-bacias do baixo trecho da bacia do rio Carmo: elaborado pela Emater; (iii) Sub bacia do ribeirão Santa Juliana: elaborado por Paisagem Ambiental; (iv) Ribeirão Ipanema: elaborado pela Emater; (v) Sub bacia do rio Gualaxo do Norte: elaborado pela Emater. Custeado pela Fundação Renova. Algumas ações estão sendo realizadas no contexto de recuperação do acidente. Realizado pelo IEF, Emater e técnicos da Fundação Renova. Foi aplicado o ISA em 4000 propriedades bem como estruturado o Plano de Adequação Socioeconômica e Ambiental incluindo 150 propriedades atingidas pela lama; (vi) Rio Piranga: elaborado pela Emater; (vii) Rio do Peixe: elaborado pela EMATER; (viii) Rio Bagagem: elaborado por Paisagem Ambiental; (ix) Rio Manso: feito pelo Núcleo ICA – UFMG; (x) Conjunto de sub bacias do alto e médio rio Carmo: elaborado pela Emater, (xi) Ribeirão Brejão: elaborado por Paisagem Ambiental; (xii) Ribeirão Mandaguari: pertence à bacia hidrográfica do Rio Araguari, localizada nos municípios de Indianópolis e Nova Ponte. Elaborado por Paisagem Ambiental; (xiii) Ribeirão Santa Isabel: custeado pelo Sebrae + Prefeitura de Paracatu + Irriganor. Elaborado pela Fundação Brandt; (xiv) Entorno do Monumento Natural Estadual Serra da Piedade: elaborado por Seapa/Emater, Semad e Aderi (Agência de Desenvolvimento Integrado da PUC Minas). O estudo abrangeu uma área de 40 mil ha. Servirá para a elaboração do Plano de Manejo do Monumento Natural. Será usado também para o futuro Plano de Desenvolvimento de Base Conservacionista e Cultural da mesma Serra; (xv) Ribeirão das Almas: em Bonfinópolis de Minas. Será apresentado ao Comitê da Bacia no início de 2021. Realizado pelo Sebrae e INAES/FAEMG; (xvi) Rio Suaçuí Pequeno (Vale do rio Doce): Realizado pelo Sebrae e INAES/FAEMG em parceria com a Cenibra. Já está finalizado. As discussões foram para o início de 2021; (xvii) Ribeirão Entre Ribeiros - Paracatu. Em elaboração pelo INAES. Custeado pelo SEBRAE, Prefeitura de Paracatu e Irriganor. Será finalizado em dezembro de 2020; (xviii) Rio Picão e ribeirão dos Machados - Alto São Francisco. Projeto com apoio do Sindicato Rural de Bom Despacho, Prefeitura de Bom Despacho, Sebrae e Sicoob; (xix) Rio Grande, em Serra do Salitre e rio Buriti em Coromandel. Elaborado pelo INAES/FAEMG. Realização: Sebrae e Cerrado das Águas. Início em dezembro de 2020 e término previsto para maio/2021; e (xx) Ribeirão Feio, em Araxá. Elaborado pela Fazu. Início em novembro de 2020 e término previsto para março de 2021. Apoio do Sebrae.

7.13 Considerações finais

A compreensão e formatação do ZAP feitos no âmbito da consolidação da política nacional de agricultura irrigada sustentável ensejada pelo marco conceitual vigente, permite retomar a continuidade administrativa no esforço de planejamento da agricultura irrigada.

Embora o ideal seja trabalhar no sentido de retomar a implementação da política de agricultura irrigada concebida pela Senir/MI para ser harmonizada ao meio ambiente, a SEAPA tem buscado estruturar núcleos, em Universidades, permitindo formar potenciais aplicadores e usuários da metodologia. Eles foram designados Núcleos de Estudos e Pesquisa do Zoneamento Ambiental e Produtivo (NEPZAP). Está implantado na Universidade Federal de Viçosa, nos Campus de Rio Paranaíba (Alto Paranaíba) e Viçosa (Zona da Mata); foi ampliado para a Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri e para o Instituto Federal do Sul de Minas, no campus de Machado. Importante ressaltar a replicabilidade deste mecanismo de cooperação, especialmente onde se assentam bases dos IF (Institutos Federais).

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação**: Uso da Água na Agricultura Irrigada. Brasília, 2017.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. Banco do Nordeste do Brasil. Ministério da Integração Nacional. Série: **Políticas e Estratégias para um novo Modelo de Irrigação**. 2001.
- BORGHETTI, J.R.; SILVA, W.L.C.; NOCKO, H.R.; LOYOLA, L.N.; CHIANCA, G.K. (Ed.). **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil**: Identificação de Áreas Prioritárias, Brasília, 243p., 2017.
- BRASIL. Decreto 86.149 de 23 de Junho de 1981. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional para Aproveitamento de várzeas Irrigáveis - PROVÁRZEAS NACIONAL. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.11781, 24 jun. 1981.
- BRASIL. Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.470, 9 jan. 1997.
- BRASIL. Lei 9.984 de 17 de Julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, Entidade Federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.1, 18 jul. 2000.
- BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438 de 26 de abril de 2002; revoga as Leis 6.662 de 25 de junho de 1979, 8.657 de 21 de Maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de Junho de 1983, e 2.369 de 11 de Novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 Jan. 2013.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO FRUTAS BRASILEIRAS - EXPORTAÇÃO. Brasília, 352 p., 1989.
- FOLEGATTI, M.V.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; ZOLIN, C.A.; PAULINO, J.; VIDAS, N.B.; IZIDORO, R. **Panorama da Irrigação no Brasil**. Esalq/USP, 2010.
- GOELLNER, C.G. **O uso de água na agricultura**. Comitê de Gerenciamento da bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo, s.d.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. Ministério da Integração Nacional, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Seminário Nacional: Agricultura irrigada e Desenvolvimento Sustentável. Notas pessoais do relator, Mauro Márcio de Oliveira. Brasília, 15p., IICA, 2009.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. Ministério da Integração Nacional, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Minas, Agricultura e Água-Desafios da Mudança Climática, da Segurança Alimentar e da Renda dos Produtores. 20p. IICA.

LIMA, J.E.; FERREIRA, R.; CHRISTOFIDIS, D. **O Uso da Irrigação no Brasil**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretária Executiva de Apoio e Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada do Nordeste. Brasília, 148 p., 1998.

MINAS GERAIS. Lei 13.199 de 29 de Janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Minas Gerais Diário do Executivo**, p.3, col. 2, microfilme 572, 30 jan. 1999.

MINAS GERAIS. Lei Delegada 180 de 20 de Janeiro de 2011. Dispõe sobre a estrutura orgânica da Administração Pública do Poder Executivo do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Minas Gerais Diário do Executivo**, p.1, col. 1, 21 jan. 2011.

RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. INOVAGRI. **Agricultura irrigada: Desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**, Brasília, DF, 2017.

PLANO DIRETOR DE AGRICULTURA IRRIGADA DE MG. PAI-MG. Relatórios 1 e 6.

PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO AMBIENTAL, TERRITORIAL E PROTEÇÃO DE RECURSOS NATURAIS. **Reestruturação Hídrica e Gestão Compartilhada de Bacias Hidrográficas de Cristalina (GO)**, 31 p., 2017.

RIO GRANDE DO SUL. Lei 14328 de 23 de Outubro de 2013. Institui a Política Estadual de Irrigação do Rio Grande do Sul, o Plano Diretor de Irrigação no Contexto dos Usos Múltiplos da água, o Conselho Gestor da Política Estadual de Irrigação e o Fundo Estadual de Irrigação, altera a Lei n.º 13.601, de 1 de janeiro de 2011, e revoga a Lei 13.063, de 12 de novembro de 2008. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, 25 out. 2013.

CAPÍTULO 8

8 AS POLÍTICAS PÚBLICAS E O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA DE IRRIGAÇÃO NO BRASIL (A PARTIR DO ANO DE 2000)

João Rebequi

Resumo

Uma das grandes virtudes da irrigação brasileira é sua continua caminhada entre academia e mercado. Não há como negar esse processo de cooperação que ocorre dentro de universidades e empresas, formando docentes e profissionais qualificados para os desafios da agricultura nacional irrigada. Nesse capítulo, vamos analisar um pouco do que ocorreu na indústria nos últimos anos. A área irrigada cresceu substancialmente nos últimos 20 anos, praticamente dobrando a base irrigada nacional, permitindo que toda a indústria investisse no aumento da capacidade instalada. Sem indústria ativa produzindo equipamentos de irrigação, não haveria esse salto, portanto, ao analisar esse recorte de duas décadas, me proponho a analisar quais foram as principais políticas públicas que permitiram esse salto na perspectiva de mercado/indústria.

8.1 Introdução

Ao analisar a evolução da irrigação no Brasil, faz-se necessário um olhar paralelo à indústria e seu desempenho em volumes, principalmente pela ótica do aumento da área irrigada. Novas tecnologias foram agregadas e os investimentos foram feitos pelos fabricantes para que essa área crescesse e se tornasse pujante no atual momento do Agronegócio. Talvez a Irrigação seja a única área em que haja uma verdadeira convergência entre o que se ministra no meio acadêmico e o mercado em si. Por este motivo, dentro desse livro, teremos abordagens acadêmicas e mercadológicas, como a que me proponho a fazer neste capítulo.

8.2 A indústria de irrigação

O objetivo deste será analisar e estratificar como as políticas públicas afetaram essa indústria utilizando de dados compartilhados na associação de classe competente: Abimaq/CSEI. Através da visão mercadológica, bem como, com o olhar acadêmico pretende-se mostrar quais políticas públicas contribuíram e de que forma elas interferiram para que a área irrigada mais que dobrasse nos últimos 20 anos e gerasse uma maior maturidade a esta indústria. Maturidade que lhe permite hoje projetar quais as tendências e perspectivas próprias para os próximos 20 anos.

Criada em 1994, dentro da Abimaq, a Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação (CSEI), congrega mais de 30 indústrias e desde sua criação, dentre diversos objetivos, vem cumprindo um brilhante papel de convergir os interesses difusos do setor que mesmo tendo indústrias com diferentes métodos de irrigação, apresentam as mesmas dificuldades e os mesmos problemas. Estes devem ser endereçados as autoridades públicas de forma coesa e única, afinal o Brasil hoje pode ser considerado o celeiro do mundo, mas em termos de área irrigada ainda temos um longo caminho a ser percorrido. Disputamos com o México pela liderança em área irrigada na América Latina.

Como parte desse trabalho em defesa do setor, a câmara vem consolidando os dados de área irrigada promovidas por seus associados e aqui daremos o início dessa análise, pelo volume de incremento de área irrigada que os fabricantes vêm declarando anualmente desde 2000.

Muito importante destacar que esse dado vem da indústria associada a essa entidade de classe, portanto, aqui não se pretende analisar a assertividade em como a área irrigada brasileira deve ser mensurada, mas sim analisar como essa indústria que investe e gera empregos percebe dentro de sua associação, a evolução do setor.

Tabela 1. Evolução da área irrigada anual (ha ano⁻¹) de 2000 a 2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2021).

Tipo	2000	2001	2002	2003	2004
Pivô Central	47.320	50.540	57.820	59.500	47.600
Carretel	25.000	29.000	30.000	30.000	22.500
Convencional	16.200	15.300	14.650	17.500	15.000
Localizada	30.000	33.000	37.000	40.000	38.000
Total (ha ano ⁻¹)	118.520	127.840	139.470	147.000	123.100
Total (ha)	3.068.480	3.196.320	3.335.790	3.482.790	3.605.890

* Histórico até 1999: 2.949.960 ha.

Tabela 2. Evolução da área irrigada anual (ha ano⁻¹) de 2005 a 2009 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2021).

Tipo	2005	2006	2007	2008	2009
Pivô Central	26.600	17.500	19.600	49.000	49.500
Carretel	21.000	30.000	30.000	30.000	25.000
Convencional	15.000	15.000	16.500	20.000	17.000
Localizada	35.000	30.000	40.000	47.000	40.000
Total (ha ano ⁻¹)	97.600	92.500	106.100	146.000	131.500
Total (ha)	3.703.490	3.795.990	3.902.090	4.048.090	4.179.590

Tabela 3. Evolução da área irrigada anual (ha ano⁻¹) de 2010 a 2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2021).

Tipo	2010	2011	2012	2013	2014
Pivô Central	52.000	57.750	84.000	126.000	102.000
Carretel	30.000	32.500	32.500	32.500	10.500
Convencional	25.000	29.500	35.400	40.710	28.497
Localizada	50.000	56.000	60.480	72.576	79.834
Total (ha ano ⁻¹)	157.000	175.750	212.380	271.786	220.831
Total (ha)	4.336.590	4.512.340	4.724.720	4.996.506	5.217.337

Tabela 4. Evolução da área irrigada anual (ha ano⁻¹) de 2015 a 2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2021).

Tipo	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pivô Central	78.000	91.000	94.000	92.000	97.500	117.000
Carretel	6.000	18.000	14.000	13.750	12.500	16.250
Convencional	28.000	31.000	31.000	31.000	31.000	37.200
Localizada	75.000	75.000	64.000	64.000	68.500	78.775
Total (ha ano ⁻¹)	187.000	215.000	203.000	200.750	209.500	249.225
Total (ha)	5.404.337	5.619.337	5.822.337	6.023.087	6.232.587	6.481.812

Observa-se que desde 2000 a área irrigada brasileira mais que dobrou em 20 anos, segundo dados da indústria associada a Abimaq, ou seja, saltando de 3 milhões de hectares para mais de 6 milhões. Esse crescimento pode ser visto sob diversos ângulos, mas a prioridade será analisar esse grande aumento sob a ótica das principais políticas públicas que contribuíram para que este número tenha sido alcançado. Sob esta perspectiva, dividiremos em três estágios bem distintos as políticas que contribuíram para esse aumento: (i) flexibilização na formalização do crédito rural; (ii) o grande “boom” - o subsídio através das taxas; e (iii) a irrigação no centro da discussão das políticas públicas agrícolas.

Como atores do Agronegócio, sabemos que em termos mercadológicos, os produtores rurais baseiam suas decisões de investimentos em duas premissas fundamentais: preço de commodities/rentabilidade e disponibilidade de crédito. Obviamente, seria muito simplório neste trabalho olhar apenas como o ingresso do Finame-Moderinfra mudou a cara da indústria, sem analisar outros fatores que contribuíram para esse salto. Mais ainda, ficaria também a pergunta do que se pode esperar para os próximos 20 anos? Muito se fala ainda sobre o potencial, mas o que será efetivamente atingido, dependerá da indústria que se estabeleceu no Brasil e seus investimentos, e nesse contexto, as políticas públicas terão um papel fundamental. Seguimos para a análise dessas fases em maiores detalhes.

8.3 A Flexibilização na formalização do crédito rural

Analisar o resultado do Finame-Moderinfra na indústria de irrigação e de máquinas agrícolas em geral, em especial durante os anos de 2013-2014, quando as taxas de juros foram fortemente subsidiadas em relação aos juros oficiais e as taxas de inflação, tornaria a análise incompleta e superficial. De fato, houve uma transição da década de 90 para o ano 2000 em termos de políticas públicas em especial com relação ao crédito rural. Pode-se dizer que houve uma pavimentação para que o crédito rural se tornasse atrativo não somente no custeio, mas também para investimentos em bens de capitais.

Em 1965, a Lei 4829 sancionada pelo então presidente Castelo Branco institucionalizava o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), que conforme assenta Sergio Pereira Leite, “cumpru um papel fundamental na transformação da base técnica dos estabelecimentos agrícolas”. De fato, quando falamos de políticas públicas, talvez aqui resida o grande marco em conjunto com o Decreto-Lei 167 de 1967, que dois anos depois tratou de assentar as regras de formalização desse crédito através de títulos de créditos próprios, os chamados Títulos de Crédito Rural. Em termos resumidos, o SNCR era constituído pelo Bacen e demais instituições financeiras (privadas, públicas e desenvolvimento) que instrumentalizavam as aplicações de recursos na Agricultura. Através de diversas outras regras normativas, que instituíam algumas obrigatoriedades, tais como a do famoso compulsório, que existe até hoje

e trata-se da obrigatoriedade que as instituições financeiras tinham em aplicar recursos em financiamentos agrícolas. Nesse momento, da criação desse regulamento jurídico, até meados da década de 1990, podemos perceber um foco na destinação dos recursos do Crédito Rural para o custeio e o investimento deixado em segundo plano.

Ocorre que, até a década de 1990, a indústria de irrigação e a mecanização agrícola brasileira caminhavam atrás em termos tecnológicos de mercados como Estados Unidos e Europa. Lembrança comum a quem atuava no final da década de 90, em multinacionais do setor de mecanização, e de que o Brasil ainda era um grande importador de soluções desenvolvidas para agricultura temperada do Hemisfério Norte e que muitos dos lançamentos eram também defasados em alguns anos em relação ao que se promovia naqueles países. Nesse momento, final da década de 90 e início dos anos 2000, houve diversos investimentos na indústria agrícola brasileira, incluindo a Irrigação, sendo que algumas organizações multinacionais da área de mecanização, percebendo a necessidade de fornecer junto com seus produtos uma solução financeira, estabeleceram suas próprias instituições financeiras focadas no Agronegócio. Esse novo cenário na oferta de bens de capitais agrícolas, fez com que houvesse uma acomodação fundamental nas regras do Crédito Rural no que tange a utilização dos títulos de crédito rural por parte das instituições financeiras. O processo tornou-se mais lógico e simples, o que facilitou o ingresso de capital privado e pavimentou o sucesso posterior do Finame-Moderinfra.

Um exemplo importantíssimo, dentre outros, foi em relação a forma como as garantias reais hipotecárias passaram a ser constituídas no início de 2000 para as instituições financeiras participantes do SNCR. Como dito acima, o sistema foi originalmente desenhado para ser mais acessível no custeio agrícola do que em investimento de longo prazo. Quando uma instituição financiava um projeto de investimento para um produtor rural, mesmo usando um dos títulos de crédito rural, como uma Cédula Rural Pignoratícia e Hipotecária, a constituição da hipoteca dependia ainda de uma escritura pública e de uma logística própria, o processo era extremamente dispendioso e tinha que ser assinado por um procurador da instituição pessoalmente no Cartório de Registro de Imóveis competente. Para quem atuava no Agronegócio neste período como eu, no departamento de formalização de uma instituição dedicada ao financiamento, tenho a lembrança clara de como funcionava o processo. Era complexo e burocrático, e questionável em termos de custos e logística operacional. Se não houvesse mudança alguma ficaria difícil imaginar um crescimento sustentável em financiamento sem a capacidade de processar as garantias reais. A Lei 6015/73 que regula os registros públicos, incluindo os de registro de imóveis, é complexa, mas por diversas vias, interpretações, sustação de dúvidas, regulamentos administrativos e pressão dos atores privados, no início da década de 2000 ficou claro que as Cédulas Rurais Pignoratícias e Hipotecárias tinham força registral como documento único, sem a necessidade de uma escritura apartada para registro. Isso mudou o jogo para as instituições financeiras financiarem com garantias reais hipotecárias.

Essa flexibilização e maior entendimento da utilização dos títulos de crédito rural na indústria de bens de capital, em especial na irrigação, veio junto com o nascimento do Finame Moderinfra em 2001, gerido pelo BNDES e operado por agentes financeiros. O Finame como é conhecido nos dias de hoje trouxe uma maturidade para todos os "players" ou agentes da indústria no momento certo. O Brasil nitidamente iniciava uma transição de coadjuvante para ator principal da agricultura mundial e começávamos um século em que as políticas públicas agrícolas não seriam mais pensadas e desenhadas para o curto prazo (custeio), mas para o longo prazo (bens de capital e tecnologia) visando a colocar o país no lugar de destaque no cenário da produção mundial. Sem sombra de dúvidas, essa acomodação da instrumentalização dos títulos rurais pavimentou o *boom* que seguiria acompanhado de políticas voltadas para essa inserção.

8.4 O grande *boom*: o subsídio através das taxas

Não existem dúvidas para a indústria que nos anos de 2012-2014 concentraram os melhores anos em resultados e em expansão a área irrigada no Brasil. Trata-se da explosão desse potencial em termos de crescimento do Agronegócio de maneira geral, mas em especial para a Irrigação.

No gráfico a seguir (Figura 1), e possível observar a taxa e as áreas adicionadas a Irrigação no Brasil com base nos dados da Abimaq/CSEI com detalhes importantes a serem considerados.

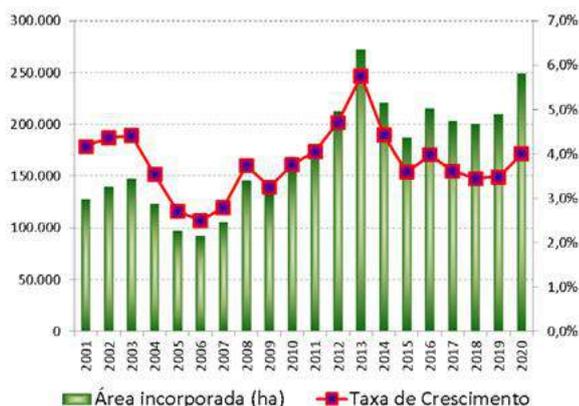


Figura 1. Evolução da área irrigada no Brasil no período de 2000 a 2020 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2021).

A combinação de bons preços e a ampla oferta de crédito subsidiada, tornam o Finame-Moderinfra operacionalizado entre 2012 e 2014 como a política pública mais efetiva no crescimento da indústria de irrigação. O objetivo aqui não é a análise das questões políticas envolvidas nessa subvenção estatal em taxas para a aquisição de bens de capital, mas sim em como a indústria se transformou nesse ciclo, ficando mais madura e preparada para os desafios dos 20 anos subsequentes.

Importante ressaltar, que esse “boom” impulsionado pelo Finame não veio sozinho. São dois os fatores adicionais que mudaram o comportamento do consumidor de irrigação e impulsionaram a indústria. O primeiro foi uma mudança de mentalidade em relação a utilização da irrigação, onde até os anos 90, os usuários de irrigação eram dirigidos pela segurança da aplicação. Em suma os produtores rurais adquiriam os produtos de irrigação para ter um seguro contra a falta chuvas. Com o advento de novas tecnologias de manejo e irrigação de precisão, os usuários conseguiram além desta segurança e produtividade adicional uma vez que não dependiam mais das condições climáticas das suas regiões para que a aplicação de água fosse realizada no momento e na hora certa. Esse benefício tangível ainda é a mola propulsora do potencial de crescimento da Irrigação no Brasil.

O outro fator importante, relaciona-se as políticas públicas. Foi através do surgimento de políticas regionais, com caráter muito similar ao Finame-Moderinfra, com juros subsidiados e facilidades em pagamento, como carências de um ano para o pagamento do principal que a irrigação teve sua grande expansão por onde o Brasil produz suas commodities. Nesse sentido, talvez um grande exemplo de política pública regional que funcionou muito para o aumento de área irrigada foi o programa Mais Águas, Mais Renda no Rio Grande do Sul. Antes do programa, os gaúchos eram fortes na irrigação de arroz por flutuação, mas sem grande destaque em outros métodos mais eficientes e, após o programa implementado pelo governo regional, o estado entrou na lista dos maiores irrigantes nacionais.

Não menos importante do que os dois fatores acima citados, durante os anos 2000, houve também uma atenção especial da indústria para a Agricultura Familiar. Programas como o Pronaf, vieram na esteira de uma valorização na importância da mecanização e tecnologias embarcadas na agricultura familiar brasileira. A mesma lógica de subvenção na taxa de juros foi aplicada nos programas destinados a Agricultura Familiar alavancando o crescimento do Agronegócio brasileiro de maneira geral.

Retornando a análise do Finame e seu impacto na indústria, mesmo existindo desde 2001, e possível perceber através da Figura 2, como as correlações entre taxas de Finame versus Selic versus Inflação ditaram o crescimento da indústria a partir desse ano. Ficou nítido ao ponto que durante os anos que se seguiram as subvenções nas taxas, existia uma verdadeira euforia na renovação do plano, sempre entre os meses de maio e junho e especialmente durante as feiras agrícolas que acontecem anualmente também nesses meses, em particular na Feira *AgriShow*. A grande questão que circulava e pairava sobre a feira ano após ano era saber qual seria a taxa a ser utilizada no próximo plano agrícola. Foi um momento de grandes investimentos na capacidade instalada de produção da indústria nacional de irrigação, em todos os métodos. Todos os executivos, de empresas nacionais e multinacionais, investiram em suas estruturas deixando a base instalada para o crescimento futuro. Provavelmente aí reside a verdadeira grande contribuição do *Boom*, deixar a indústria madura e preparada para os próximos ciclos. Foi esta explosão que acabou criando condições e abrindo os caminhos para o crescimento também da irrigação no país.

Na Figura 2 a seguir podemos observar perceber claramente o comportamento e correlações das três taxas citadas acima. No ano de 2002 o programa apresentava taxas médias de juros para aquisição de produtos de irrigação menores que inflação acumulada, bem como a taxa Selic oficial. Entre 2013 e 2015, quando foi o momento de maior atratividade do programa, quando o subsídio para as taxas, deixou os juros mais baixos que a inflação e a Selic. De 2015 em diante, pela necessidade de ajuste fiscal, o tesouro nacional passou a não subsidiar as taxas de juros nas linhas destinadas ao financiamento agrícola, gerando uma acomodação natural na indústria a nova realidade.

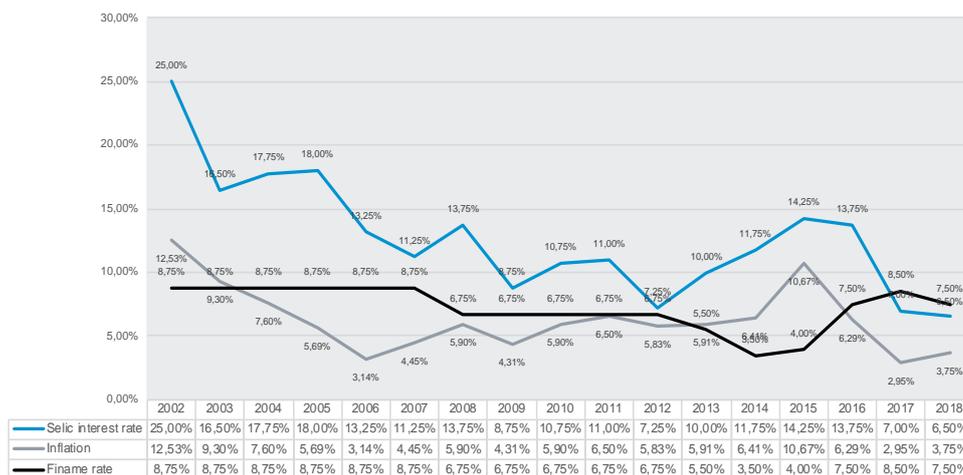


Figura 2. Taxas Selic, Inflação e Finame de 2002 a 2018 (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2021).

Sabemos que o produtor rural é avesso, em linhas gerais, a financiamentos com taxas variáveis ou vinculadas a variação cambial. Essa mudança nas taxas de juros a partir de 2015, fez com que a indústria se adaptasse ao “novo normal”, gerando uma queda inicial na demanda, porém com o ingresso de novos players privados e uma clara mensagem ao mercado. Esta mensagem é de que as políticas de crédito rural para investimento

permaneceriam prioritárias, mas com taxas de mercado acima da inflação e Selic, o que foi totalmente absorvida pela indústria.

Hoje os produtores rurais e a indústria entendem já compreendem essa lógica de mercado e não esperam mais subsídios em taxas para investimento. Talvez hoje a grande necessidade da indústria e de quem investe no Agronegócio é ter regras mais claras e de longo prazo. Nosso caminho como nação em termos de políticas públicas deveria ser conduzido para o que há nos Estados Unidos, o *Farm Bill* que se trata de uma política de 5 anos, com regras mais claras do que as nossas para quem produz, investe e consome.

8.5 A irrigação no centro da discussão das políticas públicas agrícolas

A terceira e última fase na análise das políticas públicas e seu efeito na indústria de Irrigação vem junto com a ampliação do crédito rural para investimentos em bens de capital. Trata-se de uma conscientização dos atores políticos da importância da irrigação no crescimento e segurança da produção nacionais, assim como, na preservação do meio ambiente. De 2000 para cá como mencionado anteriormente, a produção de normas reguladoras das políticas públicas agrícolas nacionais e regionais, visam ser mais racionais na sustentação do meio ambiente pensando no longo prazo, o que de forma indireta e direta beneficiam a irrigação.

Obviamente, o caminho da irrigação no que tange a políticas públicas é um pouco mais complexo e árduo, pois ainda existe muita confusão sobre a irrigação na população urbana e, toda vez que uma região no Brasil atravessa uma seca, por exemplo, normalmente a desinformação atribui esta responsabilidade à Agricultura. Nesse viés, ainda teremos que buscar melhorias, mas houve progressos importantes principalmente regionais, que já trabalham o tema das outorgas ambientais de forma diferenciada. Contudo, essa é a área que a indústria e irrigantes carecem de mais apoio das autoridades públicas no desenvolvimento de políticas para irrigação.

A Lei 12.651/12 instituiu o Novo Código Florestal brasileiro que nasceu sob a luz de modernizar a legislação brasileira e as políticas públicas para o Agronegócio, regulando diversos pontos sobre as águas superficiais e suas adjacências. Na sequência do novo regramento, foram lançados planos acessórios como o da Agricultura de Baixo Carbono (ABC), cujo caráter ambiental e de preservação se encaixa em vários pontos dentro de um projeto de irrigação. No entanto, em termos de políticas públicas, o grande destaque foi a promulgação da Política Nacional de irrigação em 2013. A Lei 12.787/13 substituiu a antiga política pública de irrigação de 1979.

Essa nova política, que hoje já não é mais tão nova assim, foi lançada com alguns pontos importantes e foi muito celebrada quando do seu lançamento em 2013. Havia uma expectativa, naquele momento de euforia da agricultura, que a nova política poderia ajudar a dobrar a área irrigada em 6 anos. Pois bem, já se passaram os seis anos e outros mais e a área irrigada não dobrou de lá para cá, porém, não podemos responsabilizar o novo plano nacional (Figura 1). Durante esse período segundo a indústria, a área cresceu cerca de 25%.

Muitos pontos da política ainda não saíram do papel, o que certamente facilitaria a vida do irrigante e da indústria. Um Conselho Nacional de Irrigação realmente atuante e um Sistema Nacional de Irrigação que permitisse um entendimento melhor das águas disponíveis para uso na irrigação tornariam o processo de outorgas mais rápido e sem a influência política que permeia diversas instituições no Brasil. Hoje o tema Irrigação em nível federal está inserido dentro do Ministério do Desenvolvimento Regional e não no Ministério da Agricultura. Existe um Conselho Nacional de Segurança Hídrica, porém não de Irrigação.

Fica a reflexão de que mais importante do que essas políticas acima, seja a forma como a Irrigação tem sido valorizado dentro dos órgãos federais. Isso é nítido no discurso de cada Ministro da Agricultura desse século que reforçam a importância da irrigação e desmistificam muitos mitos urbanos sobre a agricultura irrigada. Ainda temos um caminho pela frente, mas de fato a irrigação crescerá, a indústria estará preparada e as políticas públicas virão auxiliar esse crescimento.

8.6 A indústria de irrigação nos próximos 20 anos

Não sou adepto de exercícios de futurologia, mas há alguns estudos muito sólidos que falam do potencial da agricultura irrigada brasileira. Conheço dois estudos, ambos falam de uma expansão considerável e grande que anima qualquer um na indústria. Porém apesar do entusiasmo natural eu sou conservador e, digamos que nos próximos 20 anos, a área será dobrada, ou seja, passará de 6milhoes para 12 milhões de hectares irrigados. Posso garantir que já estamos diante de um grande desafio, cujo apoio das autoridades no desenvolvimento de políticas públicas será fundamental.

Sejamos conservadores em nossa análise. Pois bem, esses 12 milhões em vinte anos representam uma média de 300 mil hectares irrigados por ano, nossa indústria já implementou 270 mil hectares de projetos de irrigação em 2013 e esse ainda é o recorde a ser batido. O Brasil nunca atingiu esse patamar. Como disse anteriormente, a indústria tem feito investimentos na capacidade produtiva instalada, mas serão necessários mais investimentos e com isso o aprimoramento de políticas públicas em áreas específicas.

Para dobrar novamente em 20 anos, temos que pensar em como criar uma lógica racional e nacional no processo ambiental de liberação de outorgas. Sabemos que dependendo do trajeto do rio, são necessárias tanto Outorgas Federais e Estaduais e a falta de uma uniformidade na esfera estadual torna o processo de outorgas em algumas regiões do Brasil penoso, fazendo com que os futuros irrigantes desistam do processo.

Há regiões que simplesmente as secretarias estaduais não se manifestam em 365 dias, tendo que os produtores rurais via mandado de segurança pedirem para manifestação do estado transcorrido o ano, para dizer um sim ou não. Na minha visão, essa lentidão se dá por várias razões. Uma delas é técnica ou a falta de preparo, pessoal e inventario de informações atualizadas, que é a realidade de muitas Secretarias Estaduais de Meio Ambiente. Porém outra, que a meu ver é pior e infelizmente ainda existe, onde em muitas regiões, dentro das próprias Secretarias Ambientais há uma ideologia errada sobre o produtor rural e seu papel na sociedade. Nesses lugares, quando um produtor rural quer virar um irrigante e pede uma licença ambiental, o processo é ainda mais lento e difícil.

Uma forma de resolver esses conflitos nos processos de outorgas estaduais, seria através da permanente atualização do inventario hídrico no país, tanto superficial quanto subterrâneo. O exemplo de Nebraska, onde resido há quase 4 anos, é virtuoso onde há um claro inventario híbrido do aquífero que permite utilização racional do uso agrícola. Nesse sentido iniciativas, como a liderada pelo Prof. Everardo Mantovani para mapear o inventario do Urucuia, que poderá trazer uma nova onda de investimentos e desenvolvimento para a região do Oeste Baiano é um excelente exemplo de como o sistema de liberação de outorgas pode ser aprimorado na prática.

Importante destacar, mesmo que na esfera da aspersão, o estado de Nebraska nos EUA tem cerca de 70 mil pivôs centrais instalados, enquanto o Brasil inteiro um pouco mais de 20 mil, isso dá a dimensão do tamanho da oportunidade que temos pela frente, se compararmos esse pequeno estado nos Estados Unidos com o potencial territorial brasileiro.

Outro ponto fundamental importante de ser revisto no plano das políticas públicas brasileiras para a agricultura é realmente uma transformação da mentalidade e cultural de

curto prazo em longo prazo. Isso poderia ser feito na mudança dos Planos Safra anuais para algo mais robusto de longo prazo. Um exemplo a ser referenciado e adotado como melhores práticas seria o *Farm Bill* norte americano. Como mencionado anteriormente essa política desenvolvida para cinco anos, foi feita para resistir intemperes políticos não tendo as eleições como uma variável a ser enfrentada pelo produtor rural, que já enfrenta tantas outras dificuldades e que pode gerar instabilidade para os que investem no setor, incluindo a indústria de irrigação.

8.7 Considerações finais

Por fim, observa-se que os últimos 20 anos foram desafiadores, para os que trabalham no Agronegócio, observa-se essas transformações e, como essas políticas afetaram a indústria de maneira geral. A questão agora é quanto deseja-se crescer na área irrigada nos próximos anos. Por exemplo, qual será a área irrigada do Brasil em 2040?

Mesmo seguindo na linha conservadora de crescimento ou de dobrar a área irrigada novamente, a indústria instalada está preparada e continuará investindo fortemente para atender essa demanda. Evidentemente o apoio dos agentes de estado, na criação de políticas públicas capazes de facilitar este crescimento como as referenciadas serão determinantes para que esses resultados sejam alcançados. Serão essas políticas “o fiel fundamental” dessa balança da agricultura sustentável, de se fazer mais, com menos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação. CSEI. 2021. Disponível em: <http://www.camaras.org.br/site.aspx/Home-CSEI>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação. **Boletim Anual de área irrigada**. Abimaq, CSEI, 2019.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2021. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/moderinfra>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BATTLES, R.W.; THOMPSON, R. **Fundamentals of agribusiness finance**. Ames: Iowa State University Press, 2001.
- BRASIL. Decreto-Lei 167 de 14 de fevereiro de 1967. Dispõe sobre títulos de crédito rural e dá outras providências. **DOFC**, p.1841, 14 fev. 1967. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0167.htm. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, p.1, 25 mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BRASIL. Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a política nacional de irrigação. **Diário Oficial da União**, p.4, 11 jan. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BRASIL. Lei 4.829 de 5 de novembro de 1965. Institucionaliza o crédito rural. **DOFC**, p.11465, 5 nov. 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4829.htm. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BRASIL. Lei 6.015 de 31 de dezembro de 1973. Dispõe sobre os registros públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p.13528, 31 dez. 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6015compilada.htm. Acesso em: 15 mar. 2021.
- BUAINAIN, A.M.; LANNA, R.; NAVARRO, Z. (Ed.). **Agricultural development in Brazil: the rise of a global agro-food power**. New York: Routledge, 2019.

LEITE, S. (Org.). **Políticas públicas e agricultura no Brasil**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2001.

MARINI, J.A. **Políticas públicas**: para a agricultura familiar amazônica e amapaense. Eletrônico E-book. 2015.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/mais-água-mais-renda>. Acesso em: 15 mar. 2021.

VALENTE, P. **Financiamento de longo prazo**: um roteiro prático para BNDES, IFC, Finep e outras instituições. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

CAPÍTULO 9

9 CERTIFICAÇÃO NA AGRICULTURA IRRIGADA COMO INCENTIVO AO USO RACIONAL E EFICIENTE DA ÁGUA

Maria Emília Borges Alves e Vagney Aparecido Augusto

Resumo

Processos de certificação são um tema atual, recorrente e uma tendência global na maioria os países e setores produtivos, incluindo a agricultura. Visa, essencialmente, avaliar o cumprimento de requisitos técnicos, ou boas práticas minimamente aceitáveis. A água é um insumo crítico para a produção de alimentos e tem alta relevância na garantia de segurança alimentar mundial. O uso racional e responsável deste insumo para agricultura, principalmente, para agricultura irrigada vem sendo questionado pela sociedade. A agricultura irrigada crescente no Brasil, necessita de grandes volumes de água e tem grandes potenciais de desenvolvimento econômico, fatos que reforçam a necessidade do uso racional e eficiente da água no setor. No Brasil, a certificação para agricultura irrigada está prevista em lei federal, mas aguarda regulamentação e outras definições. Neste capítulo, se faz uma revisão geral (nacional e internacional) sobre o tema e traz informações técnicas relevantes para o entendimento dos problemas envolvidos e prováveis direções da certificação na agricultura irrigada. Seguindo a presunção de ser um instrumento de incentivo do uso racional e eficiente da água.

9.1 Introdução

A água é um insumo fundamental para a produção de alimentos e tem alta relevância na garantia de segurança alimentar mundial. A agricultura irrigada representa 20% do total de terras cultivadas e contribui com 40% do total de alimentos produzidos no mundo (BANCO MUNDIAL, 2020). Em nível global, devido ao crescimento populacional esperado, urbanização e mudanças climáticas, espera-se um aumento dos conflitos pelo uso da água, com impacto direto na agricultura e produção de alimentos. O aumento da população, com consequente aumento de consumo, combinado ao crescimento da renda da população mundial, estima-se que a produção agrícola precisará se expandir em aproximadamente 70% até 2050 (BANCO MUNDIAL, 2020).

Grandes mudanças na agricultura são esperadas em todos os países e precisarão ser acompanhadas por melhorias da eficiência no uso da água. Maximizar a eficiência do uso da água na agricultura, especialmente na agricultura irrigada, é essencial e dependerá, principalmente, da combinação de iniciativas (fora das fazendas) com incentivos apropriados que favoreçam investimentos nas fazendas objetivando aprimorar a gestão da água e solo.

Buscar soluções para problemas atuais e futuros exige uma reconsideração de como a água é gerida dentro setor agrícola e fora, no contexto geral da gestão dos recursos hídricos. Neste sentido, se insere o processo de certificação na agricultura irrigada como um instrumento de gestão para incentivar boas práticas de manejo. É importante que este instrumento que seja atrativo e possibilite melhorias no uso eficiente da água no campo, agregando valor à produção e reduzindo custos.

No geral, a implementação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos é limitada por políticas públicas. Instituições públicas e privadas do setor (incluindo ministérios,

secretarias, agências, comitês de bacias, organizações de agricultores e outros usuários da água) dependem de um ambiente político e legal propício e das capacidades técnicas necessárias para desempenhar suas funções com eficácia. Os instrumentos de gestão devem ser amparados por leis e regulamentações específicas que visam garantir suas aplicações.

No Brasil, o amparo legal no âmbito federal sobre a utilização racional dos recursos hídricos é tratado na Lei das Águas (Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997), Art. 2, § II (BRASIL, 1997), e na Lei da Irrigação (Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013) no Art. 19. A Lei da Irrigação também definiu no Art. 5, § VIII, a certificação dos projetos de irrigação como instrumento da Política Nacional de Irrigação (BRASIL, 2013). Dispondo sobre esse instrumento no Art. 19 com o seguinte texto:

Art. 19. Os projetos públicos e privados de irrigação e as unidades parcelares de Projetos Públicos de Irrigação poderão obter certificação quanto ao uso racional dos recursos hídricos disponíveis, incluindo os aspectos quantitativos e qualitativos associados à água e à tecnologia de irrigação. § 1º O Poder Executivo federal definirá o órgão público responsável pela certificação e disporá sobre normas, procedimentos e requisitos a serem observados na certificação e no credenciamento de entidades e profissionais certificadores, além da forma e periodicidade mínima de monitoramento e fiscalização dos projetos de irrigação. § 2º As unidades parcelares e projetos de irrigação certificados poderão obter benefícios, nos termos da lei.

Observa-se que nas leis vigentes, já citadas, não é utilizado o termo “uso eficiente” para os usos dos recursos hídricos e sim “uso racional”, termos que se confundem e se distinguem conceitualmente. Entretanto, aqui, assim como na interpretação da legislação referida, deve-se entender o termo “uso racional dos recursos hídricos” com ampla abrangência, seguindo o princípio do uso apropriado e proporcional às necessidades, otimizando, evitando perdas e desperdícios, garantindo a proteção e a sustentabilidade desses recursos, e sua existência para futuras gerações. O “uso racional” na prática é um termo mais amplo e envolve o “uso eficiente” como premissa. O “uso eficiente” está diretamente ligado à racionalidade e à produtividade. Refere-se ao ato de produzir corretamente, utilizando os recursos disponíveis da melhor forma possível e sem gastos excessivos. Dessa forma, é possível diminuir os custos, o tempo, as perdas e os desperdícios.

Quanto ao amparo legal, no Brasil, o uso racional e eficiente da água na agricultura irrigada já está previsto em leis federais e tem abrangência nacional. Entretanto, o processo de certificação para projetos de irrigação, seus procedimentos e requisitos estão pendentes de regulamentação, falta também a definição do órgão público responsável pela certificação. Com isso, também ficam pendentes o credenciamento de instituições certificadoras e profissionais certificados, atores fundamentais ao processo.

Neste contexto, este capítulo traz uma abordagem sobre o tema certificação para agricultura irrigada, abrangendo as particularidades do uso eficiente da água no campo, citando aspectos técnicos operacionais, variabilidades e dificuldades inerentes ao setor, modelos de certificação e suas particularidades, pontos e diretrizes orientativas em processos de certificação. Este capítulo visa ainda elucidar o ‘status’ atual deste tema na esfera nacional, no âmbito de política pública e reacender a discussão para os interessados e beneficiários do setor.

9.2 Uso eficiente da água na agricultura irrigada

A eficiência do uso da água na agricultura irrigada é tema recorrente em diversos fóruns, sempre em busca do uso responsável dos recursos hídricos e da boa prática da

irrigação tecnificada. Na maioria desses debates, impera a necessidade de se criar mecanismos que venham a incentivar a adoção de técnicas e manejos que maximizem esta eficiência.

Atualmente, não é mais cabível falar em aumento de produção dissociado de termos como sustentabilidade, preservação e conservação de recursos naturais, eficiência na produção e otimização do uso da terra. Nesta esteira, a irrigação, tecnologia milenar, diga-se de passagem, surgiu com intuito de viabilizar a produção agrícola em regiões onde o suprimento de água pelas chuvas não é suficiente e, vem evoluindo, no sentido de otimizar a produção.

Entre o viabilizar e o otimizar a produção há muita ciência associada, que transformou a prática da irrigação antiga da simples aplicação de água às culturas em tecnologia de ponta. Atualmente, com as novas tecnologias, se almeja alcançar novos objetivos como a garantia de produção, aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, uso controlado de insumos e outros ganhos. Bernardo *et al.* (2019), definem que a finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas, de maneira a atender às exigências hídricas durante todo o seu cultivo, possibilitando altas produtividades e produtos de boa qualidade. Devendo a irrigação estar associada a outras práticas culturais para poder gerar os resultados esperados da agricultura irrigada, como variedades produtivas, adubações e tratos culturais apropriados.

A despeito dos benefícios gerados pela irrigação, há sérios problemas quanto aos impactos ambientais associados, mais especificamente, relacionado ao uso de água em excesso (BERNARDO *et al.*, 2019). A irrigação ineficiente e inadequada resulta em desperdício de água e energia, o que representa perda de recursos finitos que estão cada dia mais escassos (RODRIGUES *et al.*, 2003).

Desta forma, Rodrigues *et al.* (2017) afirmam que o desafio da agricultura irrigada é a promoção do irrigar com qualidade. Isto quer dizer que deve ser buscado continuamente uma elevada eficiência e produtividade de uso das águas. A agricultura irrigada deve ser capaz de utilizar os recursos de forma eficiente, com mínimas perdas e deterioração da qualidade da água, isto é, sendo eficaz e de máxima produtividade.

Tabela 1. Indicadores de eficiência de uso de água para sistemas de irrigação.

Método	Sistema de Irrigação	Eficiência de Referência (%)
Superfície	Sulcos abertos	65
	Sulcos fechados ou interligados em bacias	75
	Inundação	60
Subterrâneo	Gotejamento subterrâneo ou enterrado	95
	Subirrigação ou elevação do lençol freático	60
Aspersão	Convencional com linhas laterais ou malha	80
	Mangueiras perfuradas	85
	Canhão autopropelido/Carretel enrolador	80
	Pivô central (fixo ou rebocável)	85
	Linear	90
Localizado	Gotejamento	95
	Microaspersão	90

Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2019).

As métricas de eficiência do uso da água pela agricultura irrigada podem variar sob vários aspectos, tais como, entre sistemas e métodos de irrigação adotados (Tabela 1), entre regiões, em função do porte do estabelecimento e, por sua vez, do nível de investimento do empreendimento ou do tipo de cultura irrigada.

As variações inter-regionais muitas vezes se dão em função da maior ou menor disponibilidade de água da respectiva região. Em regiões com maior disponibilidade de água, há uma tendência à prática da agricultura irrigada com menor eficiência, influenciada pela chamada 'cultura da abundância' que traz a sensação de que não há necessidade de racionalizar ou, no mínimo, ser prudente com o uso da água. Em contrapartida, há regiões em que há conflitos e disputas pelo uso da água, seja pela escassez imposta pelas condições naturais e baixa pluviosidade ou pela demanda elevada e competição entre os múltiplos usuários, o que torna a busca por eficiência uma necessidade.

O aumento da eficiência não passa somente pela adoção de sistemas de irrigação mais eficientes, mas também, e principalmente, pela adoção de práticas de manejo que proporcionem o uso da água mais eficiente. Howell (2006), comenta que normalmente o manejo da irrigação é tão ou mais importante que a substituição de uma tecnologia por outra.

Nesta análise, o entendimento é que, ainda que existam tecnologias e equipamentos modernos, é fundamental que se tenha conhecimento sobre o tema e um grau de envolvimento dos irrigantes, gestores e técnicos sobre a importância e benefícios do incremento da eficiência do uso da água na agricultura irrigada. Que esta conscientização se dê pelos diversos motivos possíveis, seja pela importância da preservação e conservação dos recursos hídricos, seja pela economia gerada ao irrigante, ou mesmo para atender requisitos de mercado e comercialização de produtos, especialmente por parte dos mercados internacionais.

O fato é que, diante de tantas possibilidades e motivações, a adoção de boas práticas para uso eficiente da água não é amplamente adotada e este, ainda, é um tema para o qual se busca mecanismos que venham promover e incentivar sua adoção.

9.3 Incentivos ao uso eficiente da água na agricultura irrigada

Os instrumentos de incentivo ao uso racional da água são oferecidos, em geral, por meio de políticas públicas e mecanismos de controle impostos pelos órgãos gestores dos recursos hídricos. No Brasil, do ponto de vista do uso racional da água, exigências legais e instrumentos de gestão, como a outorga de direito de uso de recursos hídricos, fomentam a sustentabilidade da atividade, o aumento da eficiência e a consequente redução do desperdício (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

Outras formas de incentivo vêm por meio de isenções fiscais ou de linhas de crédito específicas para a compra de equipamentos e reconversão para sistemas de irrigação mais eficientes, para aquisição de equipamentos de monitoramento climatológico. Exemplos dessas políticas vigentes estão o Programa de Incentivo à Irrigação e à Produção em Ambiente Protegido (Moderinfra), inserido no Plano Agrícola e Pecuário 2020/2021 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2020), e o REIDI do Ministério de Desenvolvimento Regional (2020a).

Cabe dizer que as políticas citadas fomentam a agricultura irrigada, mas não trazem os aspectos do uso racional e eficiente da água como requisitos. Outras linhas genéricas de créditos existentes são os Fundos de Desenvolvimento Regional, da Amazônia (FDA), do Nordeste (FDNE) e do Centro-Oeste (FDCO) (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020b).

Diante da ausência de instrumentos de incentivo específicos, por vezes, já foi proposta a criação de programas destinados aos irrigantes que adotem práticas de manejo que preconizem a economia de água e energia. Seriam formas de reconhecer e 'premiar' usuários que voluntariamente praticassem sistemas produtivos responsáveis quanto ao uso da água. O 'prêmio' poderia ser isenção ou redução de um determinado imposto, ou descontos em pagamento pelo uso da água, ou aumento do prazo de vigência de outorgas, ou até redução de taxas de juros na aquisição dos novos créditos, entre outras possibilidades.

Tais possibilidades vêm de encontro com as colocações de Bernardo *et al.* (2019) que comentam que um dos principais parâmetros de controle do impacto ambiental advindo da irrigação será, sem dúvida, uma política intensiva de melhoria do manejo da irrigação. Política esta que exigirá mais estudos, pesquisas e ações extensionistas sobre manejo da irrigação, passíveis tanto de premiação quanto de fiscalização. Nesta linha, Faggion *et al.* (2009) afirmam que, no Brasil, mesmo considerando a legislação existente, urge a iniciativa de realização de um trabalho com os diversos atores envolvidos, voltado ao uso eficiente da água para a produção agropecuária sustentável. Além disso, a produção sustentável é uma tendência global, onde a cada dia cresce o número de consumidores preocupados e exigentes quanto a racionalidade no uso dos recursos naturais e a qualidade dos alimentos. Isso está gerando barreiras e novas exigências nos mercados internacionais, levando a um reposicionamento mais sustentável dos setores produtivos.

Associada a ideia de premiação, como uma forma de estabelecer critérios para que ela ocorra, surge a proposição de se criar algo como um 'selo de qualidade' que certifique os irrigantes quanto ao nível de comprometimento na adoção de práticas para o aumento da eficiência, a exemplo de outros setores da economia em que certificações são mecanismos recorrentes para se garantir qualidade e eficiência de equipamentos e processos.

No próprio setor agropecuário, a certificação é muito praticada, especialmente para o atendimento ao mercado externo que valoriza e exige não apenas a qualidade dos produtos, mas condições dignas de trabalho e saúde dos trabalhadores nas propriedades rurais e agroindústrias, e respeito às leis ambientais vigentes. No entanto, dentre as inúmeras certificações existentes no Brasil, não se tem notícia de que alguma delas trate especificamente a questão da eficiência do uso da água na agricultura irrigada.

9.4 Certificação: conceito geral

A certificação é um mecanismo para verificar a conformidade de um produto, processo, serviço ou pessoas em relação aos critérios estabelecidos por normas, regulamentos técnicos ou competências. No Brasil, o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade é coordenado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) que utiliza de três mecanismos de verificação de conformidade: a certificação, a declaração da conformidade do fornecedor e a inspeção.

A certificação evidentemente é o mecanismo de verificação mais complexo dentre os citados. A certificação de produtos, processos, serviços, sistemas de gestão e pessoal é, por definição, realizada por terceira parte, isto é, por uma organização certificadora independente, acreditada pelo INMETRO, para executar a avaliação da conformidade de um ou mais destes objetos.

Ao acreditar um organismo de certificação, o INMETRO o reconhece competente para avaliar um objeto, com base em regras preestabelecidas. Acreditação é um processo de reconhecimento formal da competência dos Organismos de Avaliação da Conformidade exercidos exclusivamente por entidades reconhecidas nacionalmente e internacionalmente. No

Brasil, a única instituição habilitada para fazer a acreditação é o INMETRO (INTERNATIONAL ACCREDITATION FORUM, 2020).

De acordo com INMETRO, a certificação de conformidade induz à busca contínua da melhoria da qualidade. As empresas que se engajam neste movimento, orientam-se para assegurar a qualidade dos seus produtos, processos e serviços, beneficiando-se com a melhoria da produtividade e aumento da competitividade. A certificação é um indicador para os consumidores de que o produto, processo ou serviço atende a padrões mínimos de qualidade. Em relação às trocas comerciais, no âmbito dos blocos econômicos, é particularmente importante a certificação de conformidade. É cada vez mais usual o caráter compulsório da certificação para a comercialização de produtos que se relacionam com a saúde, a segurança e o meio ambiente. A livre circulação de bens e serviços só se viabiliza integralmente se os países envolvidos mantiverem sistemas de certificação compatíveis e mutuamente reconhecidos (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2020b). Assim, dentro do Sistema Brasileiro de Certificação (SBC) existem cinco diferentes tipos de certificação: (i) Acreditação: é o reconhecimento formal, concedido por um organismo autorizado, de que uma entidade tem competência técnica para realizar serviços específicos. O organismo de Acreditação do SBC é o INMETRO, cabendo às entidades por ele credenciadas a condução das atividades de certificação de conformidade e de treinamento de pessoas, (ii) Certificação de Conformidade: documento emitido pelo organismo de certificação, credenciado pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO, de acordo com as regras de um sistema de certificação e que atesta a qualidade de um sistema, processo, produto ou serviço. O documento é emitido com base em normas elaboradas por entidades reconhecidas no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro) ou com base em regulamentos técnicos emitidos por órgãos regulamentadores oficiais. A certificação de conformidade é um documento de espectro abrangente que pode certificar qualquer material, componente, equipamento, interface, protocolo, procedimento, função, método e atividade de organismos ou pessoas. As entidades ou empresas interessadas na certificação, no âmbito do SBC, devem procurar a orientação de um organismo de certificação credenciado pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO, (iii) Certificação Compulsória: a certificação compulsória é um serviço prestado pelo SBC aos órgãos regulamentadores oficiais. Deve ser executada com base no regulamento técnico indicado no documento que a criou e complementada por regra específica de certificação. Neste caso devem ser tomados como referência os modelos identificados pela Organização Internacional para Padronização (ISO/CASCO). A ISO/CASCO no Brasil é representada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A certificação compulsória dá prioridade às questões de segurança, de interesse do país e do cidadão, abrangendo as questões relativas aos animais, vegetais, proteção da saúde, do meio ambiente e temas correlatos, (iv) Certificação Voluntária: a certificação voluntária é decisão exclusiva do solicitante e tem como objetivo garantir a conformidade de processos, produtos e serviços às normas elaboradas por entidades reconhecidas no âmbito do Sinmetro. Portanto, a certificação voluntária deve ser executada com base nas normas brasileiras, regionais ou internacionais, dentro do conceito de níveis de normalização. Em situações específicas, normas estrangeiras e de consórcios podem também ser utilizadas, e (v) Avaliação do Fornecedor: as empresas e associações de classe que desejarem ter seus fornecedores certificados, incluindo requisitos adicionais próprios, devem utilizar os diversos organismos credenciados no âmbito do Sinmetro e utilizar metodologias, critérios e procedimentos compatíveis com aqueles estabelecidos no âmbito do SBC.

Para certificação de conformidade, o INMETRO desenvolveu vários modelos que são aplicáveis para diferentes níveis de verificação e fins. Dependendo do produto, do processo produtivo, das características da matéria prima, de aspectos econômicos e do nível de confiança necessário, entre outros fatores, determina-se o modelo de certificação a ser utilizado. Os modelos mais utilizados refletem o nível de verificação de mais simples para mais

abrangentes. Também se aplica essa certificação aos processos de sistema de gestão das empresas em relação a requisitos normativos. Neste caso, os sistemas clássicos são os de gestão da qualidade, certificados com base em critérios estabelecidos pelas normas ABNT (NBR/ISO). Por fim, existe ainda a certificação de pessoal que avalia as habilidades, os conhecimentos e as competências de algumas ocupações profissionais e pode incluir, entre outras, as seguintes exigências: (i) Formação: a exigência de certo grau de escolaridade visa assegurar um adequado nível de capacitação, (ii) Treinamentos: considera a carga horária e de programas de treinamento, estágios, participação em eventos como congressos etc., aos quais o profissional tenha sido submetido, (iii) Experiência Profissional: a experiência prática em setor específico permite maior compreensão dos processos envolvidos e identificação rápida das oportunidades de melhorias, e (iv) Habilidades e Conhecimentos Teóricos e Práticos: a capacidade de execução é essencial para atuar e desenvolver-se na atividade.

Os programas de certificação de pessoal normalmente estabelecem pré-requisitos aos profissionais candidatos à certificação, em termos de exigência de formação e experiência profissional mínima, podendo ser complementadas por exames teóricos ou práticos. Normalmente, exige-se do candidato com pouca formação maior experiência profissional e vice-versa. Os exames práticos são normalmente efetuados para avaliação das habilidades do profissional candidato.

9.5 Certificação para agricultura irrigada

Como funcionaria a certificação visando a maximização de eficiência do uso da água pela agricultura irrigada? Seria este um instrumento efetivo neste sentido? Não há uma resposta direta e imediata para estas perguntas. Programas de certificação podem ser complexos e em se tratando de agricultura irrigada ainda há um bom número de variáveis técnicas que dificultam uma estruturação que seja viável.

Provavelmente, a principal variável a ser considerada no momento de estabelecer parâmetros para criação de mecanismos de incentivo é a escala. A eficiência do uso da água na agricultura irrigada a ser considerada pode ser do sistema de irrigação, do empreendimento, da fazenda, da bacia hidrográfica, e outras escalas, que podem dificultar a definição de parâmetros para os mecanismos de incentivo.

De acordo com Faggion *et al.* (2009), existem diversas alternativas ou técnicas de uso que possibilitam o alcance da sustentabilidade na disponibilidade de água para produção de alimentos. Tais medidas, em relação à propriedade agrícola, podem ser agrupadas em nível interno à propriedade (*on farm*), ou escala local e em nível externo à propriedade (*off-farm*). Os mesmos autores afirmam que situações ou problemas específicos ou particulares em nível local, regional ou nacional podem exigir soluções próprias. Reforçando a importância das peculiaridades locais, existem medidas de uso racional da água associadas a parcela agrícola para a preservação dos recursos hídricos disponíveis, como: a utilização de equipamentos projetados adequadamente; a oportunidade de oferta de água aos cultivos; o manejo adequado da água utilizada; e a utilização de procedimentos agrícolas que tornem todo o sistema produtivo técnica, econômica, ambiental e socialmente sustentável, como, por exemplo, medidas de conservação de solo e água, plantio direto, manejo apropriado, entre outros. Em nível nacional, regional e local, também há que considerar as peculiaridades culturais e sociais que contribuem para a legislação existente nesses níveis.

Esta última afirmação leva a destacar outra variável importante: as dimensões continentais do Brasil e, por sua vez, as variabilidades regionais. Critérios e parâmetros estabelecidos para a região sudeste não podem ser exatamente os mesmos estabelecidos para

a região norte. E, ainda, dentro de cada região, há que se observar as particularidades das bacias hidrográficas quanto a disponibilidade de água e criticidade.

Diante das inúmeras variáveis colocadas, com o intuito de obter subsídios e sugerir critérios para a criação de programa de certificação voltados para a agricultura irrigada, são apresentadas, a seguir, algumas referências de experiências nacionais e internacionais, modelos de certificação seguidos em diversas cadeias do setor agropecuário e, por fim, uma série de diretrizes que podem nortear as iniciativas que venham a incentivar o uso racional e eficiente da água na agricultura irrigada.

9.6 Iniciativas nacionais de certificação para agricultura irrigada

No Brasil, no âmbito federal, até a promulgação da Lei da Irrigação, em 2013, praticamente não existiram iniciativas governamentais ou políticas públicas que visem especificamente certificação para o setor da agricultura irrigada com fins de uso racional e eficiente da água.

Há relatos de um projeto da Agência Nacional de Águas (ANA) para formulação de um Programa para Certificação de Sustentabilidade do Uso da Água na Agricultura Irrigada que, em meados de 2001, foi conduzido, via Convênio com extinto Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade (IBQP). O projeto da ANA, junto ao IBQP, pretendia desenvolver um modelo de certificação para incentivar o uso racional da água desde sua captação até a aplicação nas culturas, e assim, atestar os agricultores que utilizavam boas práticas de irrigação. O processo de certificação priorizaria ações de gestão compartilhada dos recursos hídricos entre o setor público e os agricultores. Além disso, considerava aspectos de melhorias para os projetos de irrigação como: a definição de métodos de irrigação mais eficientes, capacitação dos usuários, definição de indicadores de eficiência, e autoavaliação dos usuários etc. O projeto teve uma experiência piloto na bacia do Rio Preto, afluente do Rio São Francisco, no Distrito Federal. No processo de mobilização da comunidade foram realizadas sete oficinas para envolver os agricultores na construção de um modelo de certificação. Os agricultores receberam instruções técnicas sobre os melhores métodos de irrigação e um panorama geral sobre agricultura irrigada no Brasil. Ao final dos trabalhos, 99% dos agricultores concluíram que existia desperdício de água na irrigação, e 97% afirmaram acreditar que a gestão da água poderia aumentar sua disponibilidade na bacia. Apesar dos resultados iniciais serem positivos, o projeto na bacia não prosperou e o programa previsto não foi implementado.

No final de 2013, após a promulgação da Lei da Irrigação (Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013), o Ministério da Integração Nacional (MI junto com o Ministério das Cidades passaram a integrar numa única pasta, o então denominado Ministério do Desenvolvimento Regional-MDR, conforme Decreto Presidencial 9.666 de 02/01/2019) por meio da extinta Secretaria Nacional de Irrigação (SENIR), apresentou a primeira idealização formal de um processo de certificação para o setor de irrigação, então denominada "Certificação da Agricultura Irrigada – Selo Azul da Irrigação". A proposta foi apresentada em forma de minuta de Decreto, e visava a regulamentação do Art. 19 da Lei 12.787/2013 que trata da certificação de projetos de irrigação.

Conforme a proposta, seria competência do próprio MI, em articulação com outros órgãos públicos no que couber, a responsabilidade pela certificação dos projetos de irrigação. O MI poderia dispor sobre normas, procedimentos e requisitos a serem observados na certificação e no credenciamento de entidades e profissionais certificadores, além da forma e periodicidade mínima de monitoramento e fiscalização dos projetos de irrigação. A certificação funcionaria a partir de um sistema nacional de banco de dados informatizado *online*, onde seria executado todo o cadastro de informações necessárias de forma auto declaratória pelo irrigante. A certificação seria em níveis de conformidades, onde o irrigante poderia estar 'conforme' ou 'não conforme' aos requisitos. O desenvolvimento desse Sistema Nacional de

Informações sobre Irrigação também está previsto na Lei da Irrigação no Art. 5, § II (Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013) como segundo instrumento da Política Nacional da Irrigação.

A certificação com o Selo Azul da Irrigação traria como benefícios aos irrigantes os seguintes pontos: menores taxas de juros e maiores prazos para financiamentos, prioridade de acesso aos créditos, redução do valor do seguro rural, maiores prazos das outorgas de recursos hídricos, e maiores períodos de uso de energia sob taxas reduzidas. O objetivo central desta certificação era obter dados para rastreabilidade das unidades irrigantes em nível nacional, como por exemplo um melhor dimensionamento dos usos dos recursos hídricos pelo setor, e assim, favorecer estudos estratégicos para o planejamento e implementação de políticas de desenvolvimento do setor (como crédito, difusão tecnológica, programas sociais etc.). A ideia do Selo Azul da Irrigação recebeu parecer jurídico favorável em 2014, entretanto ainda não se concretizou.

Em nível estadual, a Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande Sul, seguindo as premissas da Lei Federal da Irrigação (Lei 12.787, de 11 de janeiro de 2013) instituiu a Política Estadual de Irrigação (Lei Estadual 14.328, de 23 de outubro de 2013). Seu conteúdo segue integralmente as diretrizes da Lei Federal da Irrigação, onde se presume uso sustentável dos recursos hídricos para fins de agricultura irrigada e cria em nível de estado o processo de certificação para projetos de irrigação como instrumentos da política estadual. Apesar da agilidade do estado na tratativa do tema, seu processo de certificação segue os termos da Lei Federal da Irrigação, que, todavia, está pendente de regulamentação. Com isso, o processo de certificação no estado também não evoluiu.

O mesmo fato ocorrido no Rio Grande do Sul ocorreu mais tarde, em 2015, no Estado de Goiás, que instituiu a Política Estadual de Agricultura Irrigada (Lei Estadual 18.995, de 03 de setembro de 2015). Neste caso, o estado optou por não criar o processo de certificação como instrumento da política estadual. Entretanto, definiu que os projetos públicos e privados de irrigação e as unidades parcelares de projetos públicos de irrigação poderão obter certificação nos termos definidos pelo Poder Executivo Federal. Com isso, o processo de certificação estadual em Goiás também aguarda regulamentação federal do tema.

Ainda no âmbito estadual, durante crise hídrica em meados de 2016, no Estado do Espírito Santo, o governo emitiu uma portaria (Portaria Conjunta SEAMA/SEAG 6-R de 07 de junho de 2016) instituindo procedimentos e critérios para o requerimento e a obtenção de Certificado de Sustentabilidade quanto ao uso da água na irrigação. A portaria citada traz consigo, no Art. 1º, que a emissão de certificados de sustentabilidade é facultativa ao produtor rural, e que esse processo é parte inicial dos procedimentos de emissão da outorga do direito de uso da água, disponibilizado mediante assinatura de um termo de compromisso do interessado com o uso racional e eficiente da água, no âmbito da irrigação. No Art. 2º, informa que o Certificado de Sustentabilidade aplicar-se-á a todos os irrigantes que possuam sistema eficiente e racional quanto ao uso da água ou manifestem compromisso em implantá-lo futuramente. Também definido o entendimento legal dos termos eficientes e racional assim como segue:

Art. 2º Parágrafo único. Presume-se eficiente e racional quanto ao uso da água, o sistema de irrigação localizado, assim entendidos os sistemas de micro aspersão e de gotejamento, os quais aplicam a água em alta frequência e baixo volume, sobre ou abaixo da superfície do solo, ao pé da planta.

Em nenhuma etapa desse processo de certificação há indícios técnicos relativos ao uso eficiente da água, ou que tenha objetivos reais quanto aos parâmetros de sustentabilidade, preservação e conservação dos recursos hídricos. Isso fica mais evidente nos demais artigos da portaria, principalmente nos Art. 7 e 8, assim como seguem:

Art. 7º O Certificado de Sustentabilidade poderá ser utilizado, para fins de comprovação de sustentabilidade e regularização do uso eficiente da água para irrigação, em substituição provisória à outorga, em processos de certificação que visem à exportação do produto agrícola, de concessão de crédito rural e em casos de fiscalização de órgãos de públicos. Art. 8º O requerimento e a obtenção do Certificado de Sustentabilidade não desobrigam o requerente a solicitar a outorga do direito de uso da água, ficando esta sob sua responsabilidade. Parágrafo único. A obtenção da outorga do direito de uso da água acarretará na imediata extinção do Certificado de Sustentabilidade.

O processo de certificação no Estado Espírito Santo delega a um técnico parecerista, não necessariamente certificado para tal, a responsabilidade de definir o que é sustentável a partir de uma vistoria. Também não define claramente os parâmetros que embasam a decisão técnica quanto ao uso eficiente da água na agricultura irrigada. O texto integral desta Portaria traz a percepção que seus reais objetivos se referem basicamente a um trâmite legal administrativo. Onde os fins são de regularização provisória de pendências dos usuários irrigantes quanto aos aspectos de outorgas, facilitação de créditos e formalização dos aspectos de produção sustentável para exportação de produtos agrícolas.

Neste contexto, o tema certificação para projetos de irrigação que visam o uso racional e eficiente dos recursos hídricos, no âmbito federal, apesar da previsão legal, continua pendente de regulamentação e implementação. Em nível estadual, o único exemplo se refere ao Estado do Espírito Santo. Assim, conclui-se que no Brasil, o processo de certificação para fins reais de uso racional e eficiente água para agricultura irrigada é inexistente. Cabe ao próprio setor e/ou interessados a busca ou promoção de iniciativas que favoreçam a formalização de processos de certificação para este fim. Afinal, o processo de certificação eventualmente pode trazer redução de custos, ganhos significativos de imagem, e/ou reconhecimento por parte da sociedade quanto ao uso da água para o setor da agricultura irrigada.

9.7 Exemplos internacionais de certificação aplicada à agricultura irrigada

No contexto internacional, os casos bem-sucedidos de certificação para agricultura irrigada são geralmente aplicados ao âmbito de certificação profissional. Onde associações, ou entidades privadas representativas do setor de irrigação se unem para construir processos de formação profissional mínima, normatização, especificações técnicas e regramentos gerais sobre equipamentos e projetos de irrigação. O objetivo central destas iniciativas é garantir que os profissionais certificados estejam aptos para elaboração, construção, manutenção ou auditoria de projetos de irrigação. Essas associações são responsáveis pelos cursos de formação, materiais didáticos, exames de certificação e todo controle dos profissionais e empresas certificados no mercado local. No geral, as associações exigem assinaturas de contratos para tornar-se membros dela com cobranças de anuidade e assinaturas de termos de responsabilidade técnica baseados em códigos de ética para o setor.

No Canadá, na província de British Columbia, o próprio setor privado por meio da IIABC (IRRIGATION INDUSTRY ASSOCIATION OF BRITISH COLUMBIA, 2010) iniciou seu Programa de Certificação em 1988. O objetivo deste programa é estabelecer padrões e critérios para projeto de irrigação em toda a indústria e promover profissionais que tenham alcançado um nível de competência. O Programa prevê 4 tipos de certificação que se desmembraram em áreas específicas dos projetos (residencial, comercial, agricultura e paisagístico) assim como seguem: Técnico de irrigação; Programador de Irrigação; Projetista de Irrigação; e Empresas Prestadoras de serviços de Irrigação.

A IIABC oferece todos os cursos de formação, treinamentos e certificação. Além disso, faz o controle dos profissionais certificados e empresas habilitadas para atividades de irrigação.

Importante observar que, esses tipos de associações privadas e suas certificações, no geral, estão objetivando excelência técnica dos profissionais e de seus projetos de irrigação. Não necessariamente, tem foco específico ao uso racional e eficiente da água nos projetos de irrigação. Na prática, o uso eficiente da água é uma premissa técnica para excelência dos projetos, mas os programas de certificação não fomentam a conservação ou proteção dos recursos hídricos. Afinal, essa não é sua missão ou motivação central de sua existência.

Nos EUA, o processo de certificação no âmbito federal ocorre de várias maneiras, inclusive sobre a tutela da Agência Federal de Proteção Ambiental (EPA - *Environmental Protection Agency*), que é encarregada de proteger a saúde humana e o meio ambiente: ar, água e terra (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2020). EPA criou um programa nacional denominado *WaterSense*, um programa de parceria voluntária, simbolizado por um Selo *WaterSense* para todos os tipos de produtos e serviços que economizam água. Para serem certificados precisam usar 20% menos água, economizar energia e ter um desempenho tão bom ou melhor do que os modelos regulares. A EPA tem parceria com fabricantes, varejistas e distribuidores, construtoras, profissionais de irrigação e serviços públicos. O objetivo central deste programa é transformar o mercado geral de produtos e serviços que usam água, promover uma ética de eficiência hídrica para conservar os recursos hídricos, e reduzir os custos de infraestrutura de água e esgoto (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2020).

No contexto específico da irrigação, o programa *Water Sense* também reconhece outros programas de certificação para profissionais de irrigação que atendem aos critérios já definidos. As especificações abordam programas de certificação em três categorias: (i) Profissional de instalação e manutenção de irrigação: aplica-se a programas que certificam profissionais de irrigação que instalam novos sistemas de irrigação e/ou reparam e mantêm sistemas de irrigação existentes, (ii) Projetista de irrigação: aplica-se a programas que certificam profissionais de irrigação que desenvolvem o projeto de novos sistemas de irrigação e/ou modificações em sistemas de irrigação existentes, e (iii) Auditor de irrigação: aplica-se a programas que certificam profissionais de irrigação que avaliam o funcionamento adequado dos sistemas de irrigação existentes, realizam auditorias de água e recomendam calendários de irrigação.

Ainda nos EUA, no Estado do Texas, existe um processo de certificação denominado sistema de licenciamento para atuação profissional de irrigação (TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY, 2020). Uma pessoa não pode vender, projetar, instalar, manter, alterar, consertar, fazer manutenção ou inspecionar um sistema de irrigação, ou fazer consultoria dessas atividades, neste estado, a menos que a pessoa seja licenciada pela Agência Ambiental Estadual TCEQ (TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY, 2020). No Estado do Texas, essas licenças se aplicam aos profissionais e empresas, têm prazos de validade, e exigem cursos e exames para serem licenciados. Esse sistema tem amparo legal e funciona similar ao processo de obtenção de CNH (Carteira Nacional de Habilitação) no Brasil. Já no Estado da Virgínia, EUA, existem processos de certificações profissionais de irrigação similares aos do Canadá, onde associações privadas de irrigação assumem o papel de agentes certificadores. No caso da Virgínia, a *Irrigation Association* (2020) tem um programa de certificação para profissional de irrigação em cinco tipos: Técnico de irrigação; Projetista de Irrigação; Especialista em irrigação; Auditores de irrigação; Empresas Prestadoras de serviços de Irrigação.

Na Alemanha, existe a Global G.A.P/Spring que oferece certificação comercial internacional, atuam em nível de fazenda e visam especificamente certificar os seguintes pontos: conformidade legal de fontes de água e taxas de extração; monitoramento do consumo de água; impacto dos produtores na gestão sustentável de bacias hidrográficas;

melhores práticas em gestão de água; proteção de fontes de água; e medidas para demonstrar a melhoria contínua da gestão da água. O foco desta certificação Global G.A.P/Spring é o uso genérico da água na fazenda, não tem parâmetros específicos para agricultura irrigada. Eles também oferecem outras certificações com foco nas práticas produtivas das fazendas.

Nos EUA, no Canadá, na Austrália (*Irrigation Australia*), ou na Europa (*European Irrigation Association*), as associações privadas exercem um papel importante na qualificação e certificação profissional de irrigação. Entretanto, essas associações estão focadas na excelência técnica dos profissionais e seus projetos, e não trazem o uso racional e eficiente da água na agricultura irrigada como objetivos diretos. Já no caso da EPA, em âmbito federal, o programa voluntário *Water Sense* tem seus objetivos centrados na preservação e conservação de recursos hídricos.

Um exemplo interessante de certificação na América latina é praticado pela Autoridade Nacional de Águas do Peru (ANA/PE). Em 2015, a ANA/PE formalizou o Certificado Azul, que visa promover o uso sustentável dos recursos hídricos nos seus diferentes usos, dando às empresas a oportunidade de valorizar a responsabilidade hídrica nas suas atividades e processos, através da medição da 'Pegada Hídrica', um indicador que ajuda a identificar quanta água é utilizada na produção de um bem ou serviço. Qualquer empresa que cumprir as obrigações legais quanto ao uso da água pode se cadastrar para este reconhecimento. O registro é gratuito e voluntário. Para participar, os usuários devem seguir os seguintes passos: (i) Medição da pegada hídrica, usando as metodologias ISO 14046 ou equivalente ABNT NBR ISO 14046:2017, (ii) Cumprir o compromisso de execução de Projeto de Redução da Pegada Hídrica, e (iii) Cumprir o compromisso voluntário e irrevogável de implementar ações de melhorias na gestão dos recursos hídricos em uma bacia de influência do próprio usuário, denominado "Projeto de Valor Compartilhado na Água".

Depois de cadastradas, as empresas têm um ano para cumprir seus compromissos. A ANA/PE verifica o cumprimento e concede o Certificado Azul. Os principais benefícios que as empresas adquirem com a obtenção do Certificado Azul são: (i) reforça a sustentabilidade do negócio, (ii) aumenta a competitividade na prestação de serviços para com entes públicos, (iii) fortalece a imagem da empresa perante os clientes e fornecedores, (iv) reduz os custos operacionais de consumo de água, v) fortalece o relacionamento com as comunidades vizinhas, entre outros (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/PERU, 2020).

Observa-se que casos específicos que atendam as particularidades do setor da agricultura irrigada, de forma governamental ou privada, ainda não foram identificados. As certificações existentes têm outros objetivos, e no geral focam na certificação de profissionais do setor. As agências reguladoras, nos exemplos citados, são as instituições que melhor se aproximam dos objetivos de uso eficiente da água na agricultura, ainda assim, dependem do envolvimento voluntário de todos os demais setores.

9.8 Modelos de certificações do setor agropecuário

A necessidade de se atestar a origem de produtos agropecuários e garantir a rastreabilidade dos processos de produção por meio da certificação, vem ganhando força nas últimas décadas em função da crescente exigência do consumidor por produtos de qualidade e pela garantia de origem desses produtos, englobando não apenas questões sanitárias como, também, de responsabilidade ambiental e social praticados ao longo do ciclo produtivo. Estas exigências são ainda maiores quando se trata de produtos para exportação.

Os consumidores dos países desenvolvidos têm buscado, cada vez mais, informações sobre a origem e o processo de produção dos produtos alimentícios. Outro fator que tem influenciado a busca pelas certificações de alimentos é a percepção dos governos e dos empresários dos países em desenvolvimento, de que essas certificações baseadas em critérios

ambientais e de segurança dos alimentos podem e, de certa forma, estão sendo usadas como barreiras não-tarifárias pelos países desenvolvidos para dificultar ou, até mesmo, impedir o acesso a seus mercados pelos produtos dos países em desenvolvimento (PINHEIRO; PINHEIRO, 2009). A partir dessas premissas, começaram a surgir uma série de normas e procedimentos internacionais e nacionais e, por consequência, os instrumentos para que a cadeia produtiva fosse certificada quanto ao cumprimento de tais normas.

Alguns setores se destacam quanto ao grau de exigência do mercado e, com isto, quanto a quantidade e aprimoramento das certificações a serem alcançadas, tendo como exemplo o setor de fruticultura, especialmente quanto às exportações de frutas frescas, que necessita atender um número considerável de normas, também a soja, o café, o setor florestal e a agricultura orgânica.

No caso de produtos frescos destaca-se a certificação Global G.A.P., que tem por objetivos responder a crescentes exigências relativas à segurança de alimentos e ambiental e definir normas de produção para o desenvolvimento das melhores técnicas de produção no setor de frutas, produtos hortícolas, áreas de jardinagem de viveiros, produção animal e aquíicultura. A Global G.A.P. é compartilhada e aceita pelos principais grupos de distribuição europeus (GLOBAL, 2020).

Uma das certificações mais conhecidas para o setor florestal é a certificação FSC (*Forest Stewardship Council*), que é um sistema de garantia internacionalmente reconhecido, que identifica, através de sua logomarca, produtos madeireiros e não madeireiros originados do bom manejo florestal. Todo empreendimento ligado às operações de manejo florestal e/ou à cadeia produtiva de produtos florestais, que cumpra com os princípios e critérios do FSC, pode ser certificado (FOREST STEWARDSHIP COUNCIL, 2020).

No caso da cadeia produtiva da soja, com o intuito é gerenciar de forma adequada o vertiginoso crescimento do mercado mundial desta commodity e buscar uma abordagem mais sustentável dos sistemas produtivos, estão em vigência diversos padrões de certificação, bem como acordos e programas de boas práticas adotados individualmente por empresas e fornecedores, ou por um conjunto de entidades. Os programas vigentes se baseiam nas chamadas BPA (Boas Práticas Agrícolas) e englobam desde incentivos financeiros até parcerias com associações do setor, empresas de insumos e instituições públicas que definem os respectivos critérios a serem seguidos e os benefícios que poderão ser alcançados.

Além dos exemplos citados, dois casos emblemáticos de certificação vigentes no Brasil, são o Sistema de Produção Integrada e a Produção Orgânica, ambos geridos pelo Mapa. Estes dois casos, descritos sucintamente a seguir, têm mecanismos de funcionamento que podem servir como referência na estruturação de um programa de certificação para agricultura irrigada.

Programa coordenado pelo Mapa, em parceria com o INMETRO, o Sistema de Produção Integrada é focado na adequação dos processos produtivos para a obtenção de produtos vegetais e de origem vegetal de qualidade e com níveis de resíduos de agrotóxicos e contaminantes em conformidade com o que estabelece a legislação sanitária. Isso é feito mediante a aplicação de boas práticas agrícolas, favorecendo o uso de recursos naturais e a substituição de insumos poluentes, garantindo a sustentabilidade e a rastreabilidade da produção agrícola na etapa primária da cadeia produtiva, que é passível de certificação pelo selo oficial "Brasil Certificado".

O selo "Brasil Certificado: Agricultura de Qualidade" é fornecido pelo INMETRO apenas para os produtores que passarem por uma auditoria ou avaliação da conformidade, realizada por certificadoras reconhecidas. A Produção Integrada segue as instruções previstas em normas técnicas específicas e documentos auxiliares, como manuais, grades de agrotóxicos,

cadernos de campo e de beneficiamento que promovem o atendimento e o respaldo aos marcos regulatórios oficiais.

A Produção Integrada Agropecuária teve início com o Marco Legal da Produção Integrada de Frutas (Instrução Normativa Mapa 20, de 27 de setembro de 2001). Atualmente, a Produção Integrada é válida para todas as cadeias do agronegócio, ficando a cargo dos colegiados específicos a apresentação de propostas de normas para cada cultura (Instrução Normativa Mapa 27, de 30 de agosto de 2010).

No caso da Produção Orgânica, o programa de certificação, também, foi desenvolvido e é gerido pelo Mapa, com a coordenação geral do processo de acreditação de responsabilidade do INMETRO. O Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica (SisOrg) foi instituído pela Lei 10.831, de 23 de dezembro de 2003, regulamentado pelo Decreto 6.323, de 27 de dezembro de 2007 e pelas instruções normativas correspondentes no âmbito do Mapa. Sua forma de funcionamento é muito similar ao sistema de Produção Integrada, na qual o processo de certificação considera como base o uso de boas práticas, levando em conta os critérios e as especificidades exigidas para a produção orgânica.

O produtor orgânico, para receber os selos em seus produtos, precisa fazer parte do Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos, o que é possível somente se estiver certificado por um dos três mecanismos descritos a seguir (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2020c): (i) Certificação por Auditoria: A concessão do selo SisOrg é feita por uma certificadora pública ou privada credenciada no Mapa. O organismo de avaliação da conformidade obedece a procedimentos e critérios reconhecidos internacionalmente, além dos requisitos técnicos estabelecidos pela legislação brasileira, (ii) Sistema Participativo de Garantia (SPG): Caracteriza-se pela responsabilidade coletiva dos membros do sistema, que podem ser produtores, consumidores, técnicos e demais interessados. Um SPG tem que possuir um Organismo Participativo de Avaliação da Conformidade legalmente constituído, que responderá pela emissão do selo SisOrg, e (iii) Controle Social na Venda Direta: A legislação brasileira abriu uma exceção na obrigatoriedade de certificação dos produtos orgânicos para a agricultura familiar. Exige-se, porém, o credenciamento numa organização de controle social cadastrada em órgão fiscalizador oficial. Com isso, os agricultores familiares passam a fazer parte do Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos.

9.9 Diretrizes básicas para certificação na agricultura irrigada

Como toda política a ser implementada, muitas incertezas são inerentes às decisões que podem trazer impactos positivos e/ou negativos para a sociedade. Diante da inexistência de certificações específicas para agricultura irrigada, força-nos buscar experiências similares de certificação para o setor e que tenha afinidades ao objetivo do uso eficiente da água. Assim, pode-se obter indícios de possíveis caminhos, meios, estratégias e/ou resultados consequentes das ações pretendidas.

Nesta linha, tomou-se como referência alguns estudos que foram realizados visando uma avaliação sobre os reais resultados obtidos em programas de certificação de sustentabilidade no setor do café.

Os resultados obtidos nesses estudos mostraram que a certificação de sustentabilidade trouxe benefícios aos agricultores por meio de redução dos custos de produção, aumento da receita (PERDONÁ *et al.*, 2012), redução da vulnerabilidade de subsistência dos agricultores, e resultados ambientais positivos com maior biodiversidade (LYNGBAEK *et al.*, 2001; KILIAN *et al.*, 2006; BOLWIG *et al.*, 2009; HARDT *et al.*, 2015; THONG *et al.*, 2018). Por outro lado, outros trabalhos empiricamente indicam que os efeitos econômicos da certificação de sustentabilidade não foram significativos (VALKILA, 2009; CHIPUTWA *et al.*, 2015; IBANEZ; BLACKMAN, 2016).

Interessante observar que os atributos relacionados à certificação de sustentabilidade são considerados importantes para os consumidores de café (VAN LOO *et al.*, 2015). Ou seja, os consumidores estão dispostos a pagar mais pelo café com certificação de sustentabilidade. Especialmente na Alemanha e nos Estados Unidos, o consumidor está disposto a pagar preços ainda maiores pelos cafés certificados pela *Fairtrade*, (certificadora sem fins lucrativos que visa garantir que o comércio funcione por meio de melhores preços, condições de trabalho decentes e um negócio mais justo para agricultores e trabalhadores em países em desenvolvimento), do que pelo café orgânico (BASU; HICKS, 2008). Esse exemplo nos indica que o consumidor está mais predisposto a apoiar e se engajar em ações com objetivos benéficos à sociedade, os retornos coletivos em detrimento aos individuais. Contudo, se o café certificado receber preços mais altos, espera-se que possam gerar maiores receitas para os produtores, conforme observado no Estado de São Paulo por Perdoná *et al.* (2012). Esses autores concluíram que a venda de café certificado possibilitou resultados econômicos em média de 224,5% superiores ao não certificado.

Com base em todos os aspectos já apresentados, várias questões são levantadas com vistas a encontrar um caminho para viabilização da certificação para o setor da agricultura irrigada e que, necessariamente, seja um instrumento efetivo para o uso eficiente da água. Qual modelo de certificação se aplicaria melhor? Certificações de conformidades, voluntária ou compulsória? Quais aspectos técnicos e as escalas deveriam ser considerados para métricas de eficiência, seria em nível de propriedades, projetos, parcelas, equipamentos, infraestrutura, manejo, e/ou etapas dos processos de irrigação ou outra? Como garantir envolvimento dos irrigantes no processo de certificação? Muitas outras dúvidas relevantes podem ser citadas.

Após uma análise do panorama nacional, exemplos observados para certificação no setor agropecuário, considerando o sucesso e os problemas apresentados, seguem alguns pontos que devem ser considerados num eventual processo de certificação a ser aplicado à agricultura irrigada: (i) As instituições públicas, organizações privadas, órgãos reguladores, academia, irrigantes e todos os demais do setor produtivo devem ser envolvidos e engajados na elaboração das regras, normas e métricas, (ii) Deve ser criado um comitê técnico consultivo permanente, o qual será responsável pela definição das métricas, regramentos e normas e suas revisões, (iii) A certificação deve ter entre seus objetivos a busca pelo uso racional e eficiente da água de forma explícita, (iv) A instituição responsável pela certificação deve ser acreditada e ter reconhecimento do mercado e sociedade, (v) A certificação deve ser simples e clara para os irrigantes quanto às regras e requisitos, e as consequentes melhorias e custos envolvidos, (vi) Deve trazer incentivos atraentes aos irrigantes, considerando todas as variabilidades regionais do setor (leis estaduais, clima, disponibilidades hídricas, assistência técnica, etc.), porte dos projetos, perfis dos irrigantes, tipos de culturas, métodos de irrigação, processos produtivos e disponibilidade dos recursos necessários, (vii) Não deve se tornar mais um entrave ou dificuldade para o setor da agricultura irrigada, (viii) Deve ser acompanhada de um processo de formação técnica continuada e assistência técnica para os técnicos e produtores envolvidos, (ix) Devem ocorrer auditorias independentes, idôneas, imparciais, criteriosas e colaborativas, (x) Deve haver divulgação dos produtos, serviços e/ou processos certificados junto à sociedade, (xi) Deve ser considerado a possibilidade e os meios de certificação profissional para o setor, (xii) Deve priorizar as ações e melhorias quanto uso e gestão dos recursos hídricos, de forma coletiva, respeitando os usos múltiplos da água e beneficiando as regiões de atuação dos usuários certificados, (xiii) Deve haver um programa que fomente a cultura do uso das boas práticas para o setor, e (xiv) Deve haver análises de harmonização e equivalência de normas, regramentos com outras certificações nacionais e internacionais afins.

9.10 Considerações finais

As mudanças climáticas e o aumento da população mundial poderão impactar diretamente os elos da cadeia de abastecimento alimentar global. O Brasil é um dos principais atores na produção de alimentos para o planeta, e se vê cada vez mais sofrendo com barreiras não tarifárias internacionais que questionam os usos dos recursos naturais de forma sustentável.

As áreas irrigadas no Brasil crescem em taxas elevadas, em algumas regiões teve aumento de 500 % de 2000-2007, atingindo 6,95 milhões de hectares equipados para irrigação em 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017). Isso pode representar um grande motor econômico para a sociedade brasileira. A sua relevância econômica reflete proporcionalmente na importância da racionalidade e eficiência no uso dos recursos naturais, insumos essenciais para manutenção da produção na agricultura irrigada. Isso por si só, já ratifica que o uso eficiente da água pelo setor deve ser buscado de forma pragmática, pois visa além de outros fatores, também, a própria sustentabilidade do negócio. Deve-se ressaltar aqui um potencial agravante para o setor, em caso de inércia quanto ao uso eficiente da água. O uso da água para fins de irrigação não é tratado como uso prioritário na Lei das Águas, apesar de ser o maior usuário em volumes totais. Essa falta de prioridade entre usuários da água traz riscos para o setor, principalmente em períodos de secas, em regiões de baixas disponibilidades hídricas e onde ocorrem conflitos pelo uso.

Para o presente e futuro, as preocupações também devem-se observar outro tema pouco tratado, a agricultura urbana e periurbana, setor crescente no Brasil que envolve um grande número de irrigantes. Na região Metropolitana da cidade de São Paulo tem 5.083 estabelecimentos agropecuários, dos quais 84,5% são agriculturas familiares pequenas (INSTITUTO ESCOLHAS, 2020). No geral, esse setor da agricultura irrigada está crescendo proporcionalmente às necessidades das cidades e geralmente têm baixa capacitação técnica e de gestão. Uma atenção especial para este setor se justifica devido, principalmente, ao seu alto potencial de impacto na gestão dos usos múltiplos dos recursos hídricos. A busca pela eficiência da água nestes ambientes urbanos é fator crítico para gestão dos recursos hídricos locais, por diversos fatores como: disponibilidades hídricas, contaminação, outros usos prioritários, impacto social, potencial de melhorias, etc.

No contexto, de presente e futuro, seja via certificação ou outros instrumentos, a atuação dos órgãos reguladores para uso eficiente da água deve ser mais abrangente quanto ao seu uso. O foco não deve ficar restrito aos recursos hídricos utilizados na produção ou nas fazendas, deve-se considerar toda a cadeia produtiva do setor, da fazenda até o consumidor. Cabe dizer que existe uma grande perda de alimentos em nível nacional, e grande parte das perdas e desperdícios de produtos agrícolas ocorrem durante a comercialização. O Brasil é responsável pela geração de 26 milhões de toneladas de resíduos oriundos da cadeia de alimentos, dos quais estimam-se perdas no plantio/colheita (10%), nas etapas de manuseio e transporte (50%), e desperdício pelo consumidor (10%), CEDES (2018). Isso implica indiretamente também em perdas e desperdícios de recursos naturais, principalmente água, pois esses resíduos ainda são potenciais contaminantes quando descartados.

Por fim, é importante frisar que as ações do passado ou falta delas não resolverão os problemas atuais, existem tratativas pendentes sobre o tema certificação para o setor, mas, já se avançou bastante. O presente exige ação, tanto por parte das instituições públicas quanto pelo setor da agricultura irrigada. O Futuro nos indica perspectivas globais de indisponibilidades hídricas regulares e conseqüente aumento de conflitos pelos usos dos recursos hídricos. A certificação é uma tendência global para todos os setores produtivos. Como benefício para os irrigantes, em alguns casos, bastaria a prevalência de um mercado seguro e reconhecido. Além disso, está se caminhando em alguns países desenvolvidos para o mercado futuro da água e essa tendência pode impactar enormemente o setor da agricultura

irrigada. Nos EUA foi inaugurado, em novembro de 2020, o índice Nasdaq Veles California Water Index e, no Brasil, já existe um projeto no Congresso Nacional (Projeto de Lei 495/2017) que visa a criação do mercado de água. Essas tendências confirmam que uso racional e eficiente da água na agricultura irrigada é fundamental e urgente, e é fato que a certificação pode funcionar como um mecanismo de incentivo, faltando pouco para se concretizar.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF, 86p., ANA, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Coefficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada**. Brasília, DF, 29p., 2019. Disponível em: http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo_sophia=81422. Acesso em: 25 nov. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/PERU, Autoridad Nacional del Agua. Disponível em: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/22505-certificado-azul-reconoce-a-importantes-empresas-por-uso-eficiente-del-agua>. Acesso em: 8 nov. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **O que é Certificação e como obtê-la?** Disponível em: <http://www.abnt.org.br/certificacao/o-que-e>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- BANCO MUNDIAL, 2020. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>. Acesso em: 8 dez. 2020.
- BASU, A.K.; HICKS, R.L. Label performance and the willingness to pay for Fair Trade coffee: a cross-national perspective. **International Journal of Consumer Studies**, n.32, v.5, p.470-478, 2008.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D. da; SOARES, A.A. **Manual de irrigação**. 9. Ed. Viçosa: UFV, 545p., 2019.
- BOLWIG, S.; GIBBON, P.; JONES, S. The economics of smallholder organic contract farming in tropical Africa. **World Development**, n.37, v.6, p.1094-1104, 2009.
- BRASIL. Lei 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da CF, e altera o artigo 1 da Lei 8.001 de 13.03.1990 que modificou a Lei 7.990, de 28.12.1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09. jan.1997.
- BRASIL. Lei 9.666 de 2 de Janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério do Desenvolvimento Regional, remaneja cargos em comissão e funções de confiança e substitui cargos em comissão do Grupo Direção e Assessoramento Superiores - DAS por Funções Comissionadas do Poder Executivo - FCPE. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.22, 2 jan. 2019.
- BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nos 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nos 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14. jan. 2013.
- BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei 495 de 2017. Altera a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, para introduzir os mercados de água como instrumento destinado a promover alocação mais eficiente dos recursos hídricos, 2017.
- CEDES, Centro de Estudos e Debates Estratégicos. **Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados**. Perdas e desperdício de alimentos - estratégias para redução. Série de cadernos de trabalhos e debates 3. Brasília, DF, 260p., 2018.
- CHIPUTWA, B.; SPIELMAN, D.J.; QAIM, M. Food Standards, Certification, and Poverty among Coffee Farmers in Uganda. **World Dev.**, n.66, p.400-412., 2015.

ESPÍRITO SANTO. Portaria Conjunta SEAMA/SEAG 6-R de 7 de Junho de 2016. Institui procedimentos e critérios para o requerimento e a obtenção de Certificado de Sustentabilidade Quanto ao Uso da Água na Irrigação, no Estado do Espírito Santo. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**, 9 jun. 2016.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C.A.S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, UNICENTRO/PR, v.2, n.1, p.187-190, 2009.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Tipos de certificados**. FSC. Disponível em: <https://br.fsc.org/pt-br/certificao/tipos-de-certificados>. Acesso em: 11 dez. 2020.

GLOBAL G.A.P. **O referencial global para as boas práticas agrícolas**. Disponível em: <https://www.globalgap.org/>. Acesso em: 11 dez. 2020.

GOIÁS. Lei 18.995 de 3 de Setembro de 2015. Dispõe sobre a Política Estadual de Agricultura Irrigada e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Goiás**, 8 set. 2015.

HARDT, E.; BORGOMEIO, E.; ROZELY, F.; FERNANDO, L.; PINTO, G.; PAUL, J.; SANTOS, R.F. dos; PINTO, L.F.G.; METZGER, J.P.; SPAROVEK, G. Does certification improve biodiversity conservation in Brazilian coffee farms? **Forest Ecology and Management**, v.357, p.181-194, 2015.

HOWELL, T.A. Challenges in increasing water use efficiency in irrigated agriculture. In: International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture, Turkey. [**Proceedings...**]. Adana, p.11., 2006.

IRRIGATION ASSOCIATION. IA. 2020. Disponível em: <https://www.irrigation.org/IA/Certification/IA/Certification/Certification.aspx?hkey=11eea208-f087-4375-a1ec-588fa0646a9b>. Acesso em: 9 dez. 2020.

INTERNATIONAL ACCREDITATION FORUM. IAF, 2020. Disponível em: https://www.iaf.nu//articles/IAF_MEMBERS_SIGNATORIES/4. Acesso em: 10 dez. 2020.

IBANEZ, M.; BLACKMAN, A. Is eco-certification a win-win for developing country agriculture? organic coffee certification in Colombia. **World Development**, v.82, p.14-27, 2016.

IRRIGATION INDUSTRY ASSOCIATION OF BRITISH COLUMBIA, IIABC, 2020. Disponível em: <https://www.irrigationbc.com/page/certification-program>. Acesso em: 10 dez. 2020.

INSTITUTO ESCOLHAS. Mais perto do que se imagina: os desafios da produção de alimentos na metrópole de São Paulo. **Relatório de Estudo**. Instituto Escolhas, SP, 159p, 2020. Disponível em: <https://www.escolhas.org/biblioteca/estudos-instituto-escolhas/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. INMETRO, 2020a. **Avaliação da Conformidade**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/certificacao.asp>. Acesso em: 28 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. INMETRO, 2020b. **Avaliação da Conformidade**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/comites/sbc.asp>. Acesso em: 10 dez. 2020.

KILIAN, B.; JONES, C.; PRATT, L.; VILLALOBOS, A. Is sustainable agriculture a viable strategy to improve farm income in Central America? A case study on coffee. **Journal of Business Research**, 59, p.322-330, 2006.

LYNGBAEK, A.E.; MUSCHLER, R.G.; SINCLAIR, F.L. Productivity and profitability of multistate organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.53, p.205-213, 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Agrícola e Pecuário 2020/2021**, Mapa, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/plano-agricola-pecuario/plano-agricola-e-pecuario-2020-2021/@@download/file/Plano%20Agri%CC%81cola%20e%20Pecua%CC%81rio%202020%20-%202021.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Sustentabilidade:** Produção Integrada, Mapa, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/producao-integrada>. Acesso em: 11 dez. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2020c. **Sustentabilidade:** Orgânicos, Mapa, 2020c. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos>. Acesso em: 11 dez. 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, REIDI. MDR, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/irrigacao/reidi-irrigacao>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Fundos de Desenvolvimento Regional.** MDR, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/fundos-regionais-e-incentivos-fiscais/fundos-de-desenvolvimento-regional>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PERDONÁ, M.J.; SORATTO, R.P.; MARTINS, A.N.; SUGUINO, E.; MANCUSO, M.A.C. Irrigação e certificação da cafeicultura na Região Centro-Oeste de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.3, p.377-384, 2012.

PINHEIRO, F.A.; PINHEIRO, A.V.B.S. Processos de certificação para exportação de frutas frescas brasileiras. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. **Anais...** Salvador, BA: ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2009. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_092_624_14067.pdf. Acesso em: 11 dez. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Lei 14328 de 23 de Outubro de 2013. Institui a Política Estadual de Irrigação do Rio Grande do Sul, o Plano Diretor de Irrigação no Contexto dos Usos Múltiplos da água, o Conselho Gestor da Política Estadual de Irrigação e o Fundo Estadual de Irrigação, altera a Lei 13.601, de 1 de janeiro de 2011, e revoga a Lei 13.063, de 12 de novembro de 2008. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, 25 out. 2013.

RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F.; CHRISTOFIDIS, D. Agricultura irrigada e produção sustentável de alimento. In: RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. (Ed.). Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. Brasília: **Inovagri**, 327p., 2017.

RODRIGUES, L.N.; RAMOS, M.M.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SILVEIRA, S.F.R. Análise do desempenho da irrigação em áreas da bacia do rio São Francisco. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Juazeiro, BA. O agronegócio da agricultura irrigada com revitalização hídrica: **Anais...** Juazeiro, BA: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 13, 2003.

TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY. Agência Ambiental do Estado do Texas. TCEQ, 2020. Disponível em: <https://www.tceq.texas.gov/licensing/licensing>. Acesso em: 9 dez. 2020.

THONG, Q.H.; VIET-NGU, H.; CLEVO, W.; TRUNG-THANH, N. Eco-efficiency analysis of sustainability-certified coffee production in Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, v.183, p.251-260, 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA, 2020. Disponível em: <https://www.irrigationbc.com/page/certification-program>. Acesso em: 10 nov. 2020.

VALKILA, J. Fair trade organic coffee production in Nicaragua - Sustainable development or a poverty trap? **Ecological Economics**, v.68, p.3018-3025, 2009.

VAN LOO, E.J.; CAPUTO, V.; NAYGA, R.M.; SEO, H.S.; ZHANG, B.; VERBEKE, W. Sustainability labels on coffee: Consumer preferences, willingness-to-pay and visual attention to attributes. **Ecological Economics**, v.118, p.215-225, 2015.

CAPÍTULO 10

10 A CONVERSÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM PROJETOS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO DA CODEVASF: PROJETO MANDACARU

Frederico Orlando Calazans Machado

Resumo

Um dos maiores desafios do nosso tempo é o de garantir segurança alimentar para a população mundial que continua a crescer. A população atual de cerca de 7 bilhões espera que se aumente para cerca de 9 bilhões até 2050 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2009). Por isso, será preciso aumentar a produção de alimentos em 70%, mais um bilhão de toneladas de cereais e 200 milhões de toneladas extras de gado precisarão ser produzidos todos os anos (BRUINSMA, 2010). O imperativo para esse crescimento é aumentar a produtividade da água. Para tanto, será preciso aumentar a produtividade das áreas existentes e a agricultura irrigada descortina-se ser parte dessa solução. Todavia, a agricultura irrigada possui um grande desafio que é demonstrar esse papel de aliada na produção de alimentos e não só uma consumidora de água. Faz-se necessário ampliar cada vez mais a visão da gestão hídrica para se adotar como base de planejamento a bacia hidrográfica, com vistas a preservação dos seus recursos hídricos e o seu uso eficiente. A Codevasf, por ser uma empresa pública que trabalha com irrigação, realizou de forma pioneira e um estudo que acabou virando um protocolo para a conversão de sistemas de irrigação. O estudo e desenvolvimento desse protocolo foi realizado num de seus Projetos Públicos de Irrigação, o Mandacaru, em Juazeiro na Bahia, formado por pequenos produtores. O estudo acabou sendo premiado o que levou a sua implantação, demonstrando não só a sua viabilidade como concluiu que existiram outras vantagens que vão desde a gestão do projeto como um todo até ganhos de produtividade e de renda para os produtores. Com isso, a conversão de sistemas passou a fazer parte do mapa estratégico do Ministério da Integração Nacional referente ao período entre 2011 e 2014 (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014). Se o Brasil quiser se manter como parte da solução para a crise alimentar que se descortina para o mundo é preciso acreditar que a agricultura irrigada faz parte da solução e deve criar políticas públicas que fomentem o setor da irrigação. Neste capítulo é apresentado o protocolo desenvolvido pela Codevasf intitulado de Mandacaru, que tem o foco na conversão de sistemas de irrigação, bem como a avaliação dos resultados obtidos.

10.1 Introdução

O maior desafio da agricultura irrigada é demonstrar que pode ser a grande aliada na produção de alimentos e não só uma consumidora de água, para tanto é preciso ampliar a visão, e adotar bacia hidrográfica como um todo com vistas a sua preservação dos recursos hídricos e o seu uso eficiente.

Entretanto, o recurso a água cada vez tem se tornado mais escasso em função de problemas na gestão do uso da água na bacia, mudanças nos regimes de chuvas, falta de infraestrutura para acumulação de água, dentre outras, mas que não serão objeto de discussão neste capítulo. É importante ações em favor da prática eficiente da agricultura irrigada para que os produtores pudessem voltar a ter êxito no seu negócio e favorecer o uso racional da água.

Estudos da Codevasf, em 2006 analisam o possível impacto da conversão de sistemas de irrigação no projeto público de irrigação (PPI) Mandacaru, que se localiza a 18 km da sede do município de Juazeiro no estado da Bahia. Esse estudo posteriormente acabou se tornando uma metodologia de trabalho para a gestão de água com a modernização de sistemas de irrigação parcelares em projetos públicos de irrigação da empresa, mas que pode ser aplicado em qualquer área apta a irrigação.

Em 2009, o referido estudo ganhou o Prêmio Eco 2009, o que motivou politicamente o Ministério da Integração Nacional a dar seu aval destinando recursos orçamentários e financeiros para que a Codevasf realizasse sua implementação do estudo como forma de projeto piloto no PPI (projeto público de irrigação) Mandacaru. Assim, a Codevasf, em parceria com a organização de produtores que faz a gestão do projeto (denominada Distrito de Irrigação do Mandacaru - Dimand), realizou entre 2010 e 2011, a conversão dos lotes agrícolas, modificando o método de irrigação superficial existente desde a concepção do projeto para método de irrigação localizada, mais moderno e com maior potencial de eficiência de uso da água. A partir dessas iniciativas os estudos tornaram-se um Protocolo para desenvolvimento da conversão de sistemas em PPI (projeto público de irrigação): Protocolo Mandacaru.

Os resultados obtidos foram impactantes em diversos aspectos, tais como: economia de água da ordem de 50% no volume bombeado para atendimento do projeto e de 20% nas despesas com energia da estação de bombeamento principal, ganhos de produtividade que variaram de 18 até mais de 100%, dependendo da cultura. Além disso, a conversão proporcionou também o aumento efetivo da área plantada (utilização da área plena dos lotes) e de rentabilidade. Isto acabou impactando positivamente na gestão do distrito de irrigação reduzindo a inadimplência e aumentando a receita, proporcionando também a realização de serviços de manutenção de forma e frequência adequados.

10.2 Mapa estratégico do Ministério da Integração Nacional

Desta forma, a conversão de sistemas passou a fazer parte do mapa estratégico do Ministério da Integração Nacional (2011-2014) (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014) que a inseriu como objetivo estratégico para ampliar e garantir a eficiência da Irrigação com a implementação de modelos de gestão sustentáveis e inovadores nos perímetros públicos de irrigação, tendo a Codevasf executado mais de 500 projetos executivos para a conversão de sistemas de irrigação em outros projetos públicos de irrigação na região do submédio do rio São Francisco.

Em consonância com as demandas da sociedade e com a urgência do planejamento e gestão dos recursos hídricos, entendeu-se que o projeto de conversão tem forte visão de futuro, contribuindo efetivamente para que os recursos hídricos possam ser aplicados e disponibilizados, de modo sustentável e parcimonioso, para esta e para as futuras gerações.

Até hoje não houve contestação técnica de qualquer natureza, até porque o projeto de conversão de sistemas de irrigação sempre esteve investido da mais pura lógica, visando assegurar a sustentabilidade econômica, social e ambiental.



Figura 1. Mapa estratégico do Ministério da Integração Nacional referente ao período entre 2011 e 2014 (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014).

10.3 Projeto Mandacaru

O projeto público de irrigação (PPI) Mandacaru foi inaugurado em 1971 e se localiza em Juazeiro, Bahia, a 18 km da sede do município e possui uma superfície total de 800 ha, sendo irrigáveis em torno de 419 há, divididos em 54 lotes agrícolas e um de pesquisa cedido à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Foi inicialmente concebido para pequenos produtores, com uma área média por lote de 7,5 ha, e tido como o primeiro no Estado da Bahia, na região do submédio do rio São Francisco, com esta premissa.

Tradicionalmente sempre foi cultivado com culturas temporárias, principalmente melão e cebola, porém, com o crescimento da fruticultura irrigada, houve um aumento da área com frutíferas, principalmente manga.

Até 2003 o projeto manteve os seus moldes originais. Contudo, a crise financeira vivida pela organização de produtores, denominada Distrito de Irrigação do Mandacaru (Dimand) (responsável pela gestão do projeto, por meio da cobrança de tarifa de água tal qual um

condomínio) a estava levando para total estado de insolvência. A saída adotada, para a sorte dos produtores, foi a venda de água para uma empresa fora do projeto incorporando cerca de 350 ha, cuja contribuição mensal levou à recuperação do projeto, inclusive no que concerne ao cumprimento dos compromissos inadiáveis, tais como o rateio das despesas condominiais para pagamento de pessoal e das contas de energia elétrica, além de favorecer o custeio da manutenção da infraestrutura de irrigação de uso comum como: canais, estradas, estação elevatória, etc.

Por causa das limitações financeiras dos produtores, a taxa (ou índice) de exploração da área irrigável do projeto dificilmente ultrapassava os 60%. Isto significava que solos irrigáveis e com infraestrutura pronta para irrigar estavam ociosos, sem se prestarem a que foram idealizados: diminuir desigualdades regionais com a geração de emprego e renda. Daí a possibilidade de venda de água para a área empresarial ter sido a solução.

Todavia, em 2005, um produtor resolveu fazer a troca do sistema de irrigação de seu lote agrícola instalando um sistema de irrigação localizada com o uso de microaspersores. Esse trabalho foi acompanhado por engenheiros agrônomos da Codevasf e devido aos resultados obtidos suscitou nos técnicos a motivação para realizar um estudo dos possíveis impactos da troca dos sistemas de irrigação de todos os lotes agrícolas no PPI Mandacaru.

Assim, no ano de 2006, os estudos foram feitos, mas não houve nenhum tipo de motivação política para que o estudo viesse a ser implantado. Todavia, em 2008 com o advento da Exposição Internacional realizada na cidade de Zaragoza na Espanha (Expo Zaragoza, 2008) que teve como tema "Água e Desenvolvimento Sustentável", a Codevasf foi convidada a participar de um painel para apresentar a palestra sobre "Efeitos Ambientais e Econômicos Resultantes da Alteração do Sistema de Irrigação do Projeto Mandacaru, em Juazeiro, Estado da Bahia, Brasil".

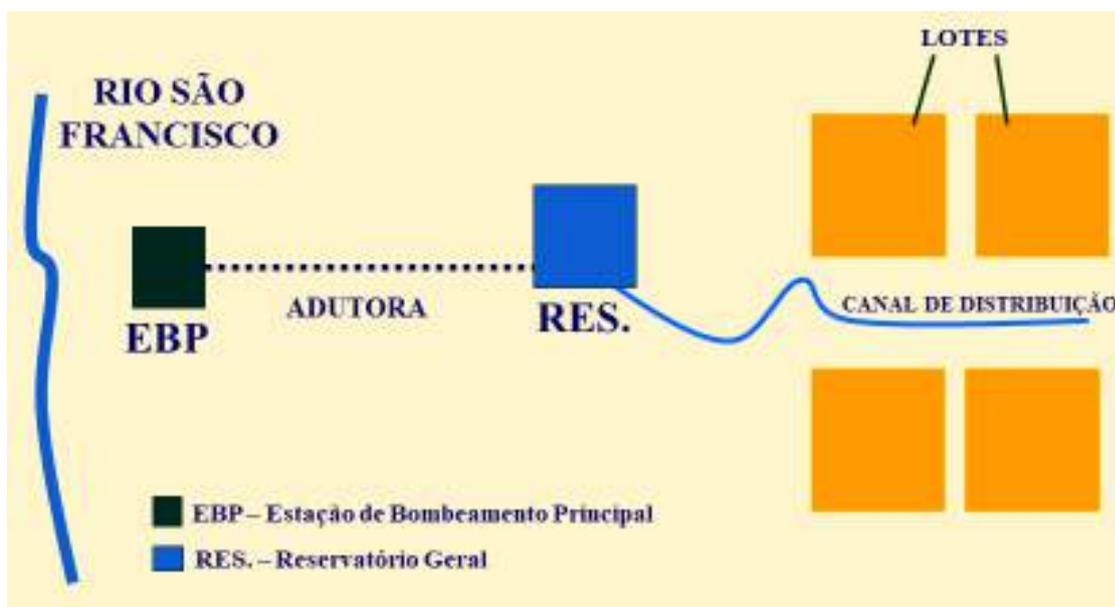


Figura 2. Modelo esquemático de funcionamento do projeto público de irrigação (PPI) Mandacaru antes da conversão dos sistemas.

A participação na Expo Zaragoza teve uma boa repercussão e suscitou algumas expectativas para a implementação do estudo, pois os resultados preliminares apontavam vários benefícios que iam desde um manejo mais eficiente no uso da água da irrigação, controle mais preciso do consumo e da cobrança pela água, até a plena ocupação dos lotes agrícolas que estavam em média sendo explorados abaixo de 55% de sua área irrigável.

O PPI Mandacaru até 2009 tinha as seguintes características operacionais, conforme modelo esquemático da Figura 2: (i) potência Instalada da Elevatória: 266,48 kW, (ii) tempo de funcionamento da Elevatória: 5.458 h ano⁻¹, (iii) consumo de Energia Elétrica: 1.455 MWh ano⁻¹, e (iv) consumo de água: 12.800.000 m³ ano⁻¹ (aproximadamente).

Com a conversão dos sistemas, as mudanças que seriam feitas eram a instalação de reservatórios e sistemas de bombeamento individualizados em cada lote, passando o modelo esquemático de funcionamento original a operar como a Figura 3.



Figura 3. Modelo esquemático de funcionamento do projeto público de irrigação (PPI) Mandacaru após a conversão dos sistemas.

Ou seja, não haveria mudança alguma na infraestrutura de irrigação de uso comum, mas exclusivamente nos lotes agrícolas, assim, não houve a necessidade de paralização do fornecimento de água para o sistema produtivo como um todo, mas somente os lotes que estiverem em processo de instalação dos novos sistemas parcelares de irrigação.

Isto posto, em 2009, o estudo que propunha a conversão dos sistemas parcelares de irrigação no PPI Mandacaru foi agraciado com o Prêmio Eco 2009 do Jornal Valor Econômico e American Chamber - AmChan (Câmara de Comércio Americana) e a Codevasf foi a primeira empresa pública que atua no Nordeste a recebê-lo. Assim, após a recepção desse prêmio de importância e reconhecimento nacionais, veio a motivação política para que o Ministério da Integração Nacional disponibilizasse recursos orçamentários e financeiros à Codevasf no intuito de que ela pudesse realizar a conversão dos sistemas de irrigação parcelares com base na metodologia premiada.

Em 2010, a Codevasf, em parceria com o Distrito de Irrigação Mandacaru (Dimand) (Distrito de Irrigação - organização sem fins lucrativos que congrega todos os produtores irrigantes de um Projeto Público de Irrigação – PPI, responsável por realizar a gestão da infraestrutura pública de irrigação de uso comum através do rateio das despesas entre os irrigantes, no caso do PPI Mandacaru (Dimand), deu início a conversão dos sistemas de irrigação para a modernização da irrigação parcelar. Lote a lote foram realizadas pequenas obras necessárias para comportar os novos sistemas. A conversão dos sistemas dos lotes agrícolas foi concluída em meados de 2011.

Na Tabela 1, pode-se observar o crescimento tanto de área colhida (ha) como da produtividade ($t\ ha^{-1}$) para as culturas observadas no período anterior a implantação (2009), durante a implantação (2010 e 2011) e imediatamente após a implantação (2012).

É importante destacar que a produtividade durante a implantação já superava as expectativas dos irrigantes o que acabou motivando aqueles que tinham uma certa desconfiança no processo a participar ativamente e buscar conhecer os detalhes e cobraram capacitação para melhor utilizarem os novos sistemas. Devido a esse envolvimento dos irrigantes no processo e com o apoio do Dimand, foi possível realizar a contratação de uma assistência técnica específica para os irrigantes aprenderem a manejar os novos sistemas.

No ano de 2012, por ocasião da escolha das Tecnologias Sociais apoiadas pela Fundação Banco do Brasil (FBB) para 2013, o desenvolvimento do projeto piloto foi denominado como Metodologia Mandacaru. A Metodologia Mandacaru foi finalista do prêmio das tecnologias sociais da FBB, o que a levou a ser inscrita no Banco de Tecnologias Sociais da FBB com possibilidade de ser financiada pela própria FBB no seu desenvolvimento ou aprimoramento. Como parte do prêmio de finalista, a Metodologia Mandacaru foi objeto de um vídeo promocional (o vídeo se encontra disponível na internet no endereço: <<https://www.youtube.com/watch?v=OYrnkT1hX4M&feature=share>> - consulta efetuada em 12 de novembro de 2020) onde foi demonstrado os ganhos de produtividade, redução da força de trabalho, diminuição de problemas ambientais, tais como salinização de solos, diminuição de carreamento de adubos para o rio e recuperação de áreas já em processo de salinização, participação social dos produtores envolvidos e do distrito de irrigação.

Tabela 1. Demonstrativos da exploração produtiva nas áreas de pequenos produtores do PPI Mandacaru, no período de 2009 a 2012.

Culturas	Área Colhida (ha)				Produtividade ($t\ ha^{-1}$)			
	2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012
Manga	92,80	113,10	107,20	105,00	18,50	26,00	28,30	24,75
Acerola	15,90	18,40	21,10	25,30	27,40	24,40	41,20	32,40
Melão	93,75	46,70	62,90	120,10	17,70	23,20	29,70	34,60
Cebola	74,50	49,30	63,60	93,80	13,10	18,50	21,40	29,90

Relatórios de Produção da Área de Gestão dos Empreendimentos de irrigação - Codevasf (2009 a 2012).

Tabela 2. Projeto Mandacaru antes (2009) e após (2016) a implantação dos sistemas de irrigação localizada.

Descrição	2009	2016
Área Explorada (média anual)	481	787
Lotes Pequenos Produtores + EMBRAPA	401	419
Área externa atendida (AGROVALE)	80	138
Área de Expansão Lotes	0	230
Aumento médio da área irrigada		63%
Operação Anual EBP (horas)	3.983	1.810
Economia de energia		17%
Economia de água		55%

Distrito de Irrigação Mandacaru (Dimand), relatórios gerenciais 2010 e 2016.

Além desses resultados obtidos com a conversão na Tabela 2, a partir de informações gerenciais obtidas do próprio Distrito de Irrigação Mandacaru (Dimand), como percentual de

economia de água e energia, aumento da área plantada (utilização da área plena dos lotes, área externa da Agrovale e área expandida de lotes), conferiram outros prêmios nacionais de relevância, como o Selo Verde Categoria Diamante (Certificado pela Ecolmeia) em 2011, validação como Tecnologia Social pela FBB em 2013 e finalista do Prêmio ANA 2014. Além disso, a Codevasf foi convidada a apresentar os resultados na Rio+20 em 2012 em um painel internacional, que também chamou muito a atenção dos partícipes.

Segundo o Dimand, outros resultados importantes obtidos dizem respeito a gestão do projeto como demonstra a Tabela 3, elaborado a partir de informações do próprio distrito para o ano de 2013.

Tabela 3. Resultados obtidos em 2013 após a conversão dos sistemas de irrigação parcelares.

Resultado	Percentual
Redução do Volume de Drenagem devolvido ao Rio	80%
Redução de Custos de Operação e Manutenção do Projeto	35%
Aumento do Faturamento do Distrito	29%
Redução da Inadimplência do Distrito	19%

Distrito de Irrigação Mandacaru (Dimand), relatório gerencial 2013.

Os resultados demonstraram, que a modernização de sistemas de irrigação, com base na metodologia desenvolvida, agora protocolo, além de favorecer os irrigantes tanto na geração de renda quanto para o uso eficiente e sustentável do recurso água, favoreceram de sobremaneira a gestão do Dimand com a redução dos custos de operação e manutenção, aumento do faturamento e redução da inadimplência.

Cabe destacar que a aferição do quanto cada lote consumia de água era feito pelo método indireto de calha Parshall e com a conversão dos sistemas de irrigação, a aferição passou a ser feita com hidrometria, que tornou a cobrança de água mais precisa e aumentou a receita do Dimand.

A conversão, em última instância, favoreceu e favorece a transferência da gestão (A transferência da gestão de um Projeto Público de Irrigação - PPI - é o processo de delegação de sua administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum de um ente público para uma entidade privada, com vistas a desoneração do poder público com relação as despesas de operação e manutenção da infraestrutura de irrigação de uso comum) do projeto para os próprios irrigantes, tornando o PPI Mandacaru menos dependente de recursos públicos, pois o distrito passou a realizar de forma adequada a alocação de recursos para a execução de serviços de manutenção que eram deixados de serem executados e acabavam impactando os cofres da Codevasf com necessidade de recursos de investimentos para a recuperação da infraestrutura.

Alguns outros benefícios observados oriundos da conversão dos sistemas de irrigação no PPI Mandacaru, no que diz respeito ao rio São Francisco foram: (i) redução de mais de 50 % do volume anual bombeado, essa água pode ser utilizada para outros usos ou mesmo para ampliar a área irrigada do projeto caso exista necessidade e área apta para tal, (ii) redução da poluição pontual com os drenos vazios, fora do período chuvoso, a deposição de efluentes contaminados por agrotóxicos praticamente inexistente nos pontos de descarga do sistema de drenagem, (iii) eficiência na aplicação de fertilizantes via fertirrigação, reduziu a carga de poluentes lançados, contribuindo assim com a redução da eutrofização, e (iv) redução da

erosão superficial no seu trajeto **lote - drenos - rio**, pois não há mais arraste e deposição de partículas de solo, reduzindo a contribuição com sedimentos para o assoreamento.

Antes da conversão



(A)

Após da conversão



(B)



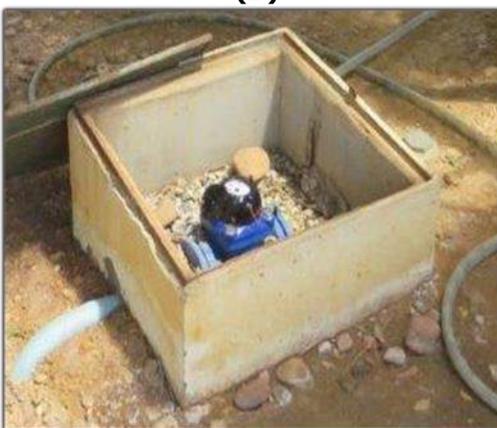
(C)



(D)



(E)



(F)

Figura 4. Registros fotográficos antes da conversão e após a conversão. (A) Drenos cheios. (B) Drenos vazios. (C) Sulcos: favorece erosão superficial. (D) Irrigação localizada: sem erosão. (E) Calha Parshall sem manutenção. (F) Caixa com hidrômetro instalado em lote que passou pela conversão (Registros fotográficos dos autores).

Estimou-se na elaboração dos projetos de conversão que as somas dos volumes de água dos lotes gerariam uma economia da ordem de $8.000.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

Esse volume poderia ser utilizado para outros usos, a exemplo de abastecimento humano, dessedentação animal, regularização da vazão ecológica do rio e pesca. Mas,

adotando-se como custo de oportunidade apenas a geração de energia elétrica, chegou-se a uma geração de 24 MWh ano⁻¹, nas usinas hidrelétricas da Chesf (Itaparica, Paulo Afonso e Xingó) que ficam a jusante do PPI Mandacaru (Relatório da TR Consultoria em Tarifas e Regulação Ltda., 2007, empresa Contratada pela Codevasf). Um lote do Projeto Mandacaru estava com seu solo no início de um processo de salinização e seu respectivo dono já haviam perdido a esperança de poder voltar a produzir. Mas com o manejo da própria irrigação localizada foi feito um processo de "lavagem" dos sais que se encontravam nas camadas superficiais por meio de pulsos consecutivos de irrigação, com o devido acompanhamento de especialistas da Codevasf em drenagem e o acompanhamento da assistência técnica contratada pelo distrito, o que permitiu a recuperação da capacidade produtiva do lote.



Figura 5. Lote com presença de sais em camadas de solo mais rasas (Registro fotográfico dos autores).

10.4 Protocolo Mandacaru

A Metodologia Mandacaru, é na verdade um Protocolo de Trabalho. Portanto, o Protocolo Mandacaru na verdade não se trata somente de irrigação, como muitos podem imaginar, mas ela é basicamente uma mudança no paradigma da gestão de água de um PPI, que tem como ponto de partida a alteração dos sistemas parcelares de irrigação.

A individualização do bombeamento parcelar, com a instalação de hidrômetros auxilia na gestão da infraestrutura de irrigação de uso comum dos PPIs. Desta feita, com a individualização do bombeamento há uma transferência para o irrigante dono do lote (usuário de água) da responsabilidade pelo uso da água, uma vez que no caso de um inadimplemento no pagamento da tarifa de energia a atribuição passa a ser das concessionárias de energia elétrica que podem cortar a energia e por consequência cortar a água dos usuários devedores.

Assim, a gestão do distrito de irrigação manteve o foco na captação e distribuição de água, com a diminuição do inadimplemento e tarifas condominiais (rateio das despesas de operação e manutenção) mais adequadas à realidade da produção agrícola irrigada, tornou-se mais eficiente.

Outro aspecto importante, é que o sistema de pressurização individualizado permite a fertirrigação, ou nutrirrigação, e a aplicação de matéria orgânica via água, algo impensável nos sistemas de irrigação por superfície. Isso, reduz o desperdício de adubo, reduzindo a poluição pontual que ocorre por carreamento de elementos químicos dos adubos para o rio.

O Protocolo Mandacaru desenvolvido pela Codevasf é constituído por diversas fases, a saber: (i) Identificação do lote em questão com relação as culturas plantadas, área de cada uma e seu respectivo espaçamento; (ii) Conhecimento do sistema de irrigação original com relação ao volume de água utilizado, vazão, turno de rega, área e cultura atendidas; (iii) Conhecimento das tarifas de energia e o valor pago pela água, no caso em tela como foi em um Projeto Público de Irrigação o valor cobrado pelo condomínio (Distrito) para custear as ações de operação e manutenção (despesas fixas e variáveis), no caso de um projeto privado levantar com o proprietário essas despesas desde a outorga de uso da água até as despesas de operação e manutenção do sistema atual (antes da conversão); (iv) Determinar o balanço hídrico atual por lote e determinar os respectivos volumes antes da conversão; (v) Elaborar relatório com os dados técnicos e um panorama geral do projeto, no que diz respeito a localização (informações do CAR e georreferenciamento são bem-vindas) e informações socioeconômicas antes da conversão como por exemplo valor bruto da produção alcançado, empregos gerados por hectare e receita líquida (se for possível); (vi) Elaborar o Projeto Executivo para o lote em questão com o balanço hídrico futuro, cálculos hidráulicos (levando-se em consideração aspectos edáficos e testes de bulbo *in loco*), elevatória, desenhos e orçamentos detalhados, especificações técnicas do sistema como um todo sistema de bombeamento, fertirrigação, válvulas (alívio, ventosas, retenção etc.), automação, filtros etc.; (vii) Determinar os volumes futuros por cultura e sistema de irrigação; (viii) Fazer o balanço energia elétrica - atual x projeto (futuro); (ix) Realizar comparativo custos de operação atual x projeto (futuro), considerando os gastos de energia elétrica agregada com o projeto (é recomendável fazer uma simulação acerca do consumo de energia elétrica entre as situações atuais consideradas e aquela prevista para o modelo proposto); e (x) Realizar a análise financeira de sensibilidade considerando-se as taxas de exploração atual (efetiva) e futura de 100%.

Segundo o Professor Everardo Chartuni Mantovani (2017):

Os objetivos e premissas propostas na Metodologia Mandacaru vão de encontro às necessidades básicas da quase totalidade dos PPI no Brasil que apresentam sérios problemas no tocante a sustentabilidade econômica, social ou ambiental em função de vários aspectos, destacando-se a irrigação por superfície com muita baixa eficiência, falta de uma estrutura moderna e efetiva de gestão da irrigação e falta de informações técnicas, entre outras.

10.5 Avaliação dos resultados

Após a conversão dos sistemas de irrigação do PPI Mandacaru era necessário fazer uma avaliação para se determinar o impacto do que foi realizado. Com isso, para a consecução desta avaliação *ex post*, conforme recomendado pela metodologia descrita no livro "Avaliação Econômica de Projetos Sociais (MENEZES FILHO; PINTO, 2017)", foi estabelecido um grupo controle com características semelhantes ao grupo tratamento (PPI Mandacaru), para tanto o controle escolhido foi a área de lotes familiares do PPI Tourão que apresenta tamanho de área de lote, sistemas de irrigação parcelares e solos com características semelhantes ao do PPI Mandacaru. O período avaliativo considerado foi de 2010 a 2013 (FEITOSA *et al.*, 2017).

Os beneficiários do projeto de conversão de sistemas de irrigação do PPI Mandacaru (grupo tratamento) são agricultores que plantam as mesmas culturas irrigadas do outro grupo que ainda não foi contemplado com a substituição dos sistemas de irrigação, por isso, os

agricultores ocupantes de lotes familiares do PPI Tourão foram escolhidos como grupo controle.

Visando simplificar a análise, a metodologia aplicada foi o Teste das Médias. A variação do Valor Bruto da Produção (VBP), que é função da produtividade e do preço, resume perfeitamente a interação das outras variáveis, pois é a variável mais percebida pelo agricultor irrigante.

As Tabelas 4 e 5 foram geradas utilizando-se recursos da Estatística Descritiva do MS Excel - Análise de Dados. A Tabela 6 contém os dados dos grupos de controle (Valor Bruto da Produção – VBP C e de tratamento (Valor Bruto da Produção - VBP T) antes da conversão dos sistemas de irrigação no PPI Mandacaru (2010).

Em seguida procedeu-se à análise estatística dos dados, onde ficou demonstrado não haver diferença significativa do Valor Bruto da Produção do Controle (VBP C) e do Valor Bruto da Produção do Tratamento (VBP T) antes da intervenção (2010). A significância das diferenças das médias dos VBP depois da intervenção (2013) ficou comprovada conforme demonstrado na Tabela 6. O nível de confiança das análises é de 95%.

Verificada a significância das diferenças entre o grupo tratamento e o grupo controle passou-se a estimar o impacto do projeto de conversão de sistemas de irrigação implantado no PPI Mandacaru em 2010, quando comparado com PPI Tourão no período de 2010 a 2013.

Tabela 4. Dados estatísticos para a situação antes da implantação do projeto (2010) (FEITOSA, MACHADO; FRANCO, 2017).

Dados Estatísticos	Valor Bruto da Produção VBP C antes	Valor Bruto da Produção VBP T antes
Média	7.100,09	7.448,74
Erro padrão	175,60	146,42
Desvio padrão	1.053,63	1.055,87
Variância da amostra	1.110.134,36	1.114.860,75
Contagem	36	52
Nível de confiança (95%)	356,50	293,96

A Tabela 5 contém os dados dos dados dos grupos de controle (VBP C) e de tratamento (VBP T) após a implantação da conversão dos sistemas de irrigação no PPI Mandacaru (2013).

Tabela 5. Dados estatísticos para a situação depois da implantação do projeto (2013) (FEITOSA, MACHADO; FRANCO, 2017).

Dados Estatísticos	Valor Bruto da Produção C depois	Valor Bruto da Produção T depois
Média	10.415,02	15.839,57
Erro padrão	257,59	343,28
Desvio padrão	1.545,55	2.475,40
Variância da amostra	1.110.134,36	1.114.860,75
Contagem	36	52
Nível de confiança (95%)	522,94	689,16

Na Figura 6 apresenta a evolução dos VBP, em valores correntes, dos projetos públicos de irrigação (PPI) Mandacaru (linha vermelha) e Tourão (linha verde) no período estudado.

Tabela 6. Análise estatística para o teste das médias com 95% de confiança (FEITOSA, MACHADO; FRANCO, 2017).

Variável	Média		Intervalo de Confiança				Diferença Significante
	Trat.	Ctrl.	Trat.		Ctrl.		
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	
VBP antes	7.448,47	7.100,09	7.154,51	7.742,43	6.743,59	7.456,59	Não
VBP depois	15.839,57	10.415,02	15.150,41	16.528,72	9.892,08	10.937,96	Sim

A técnica Diferenças em Diferenças foi utilizada para estimar o impacto do projeto de conversão de sistemas de irrigação implantado no PPI Mandacaru em 2010, quando comparado com o projeto público de irrigação (PPI) Tourão no período de 2010 a 2013. Foram realizadas análises verticais e horizontais, onde se verificaram as diferenças dos VBP, como demonstrado na Tabela 7.

Comparando-se a Tabela 6 que estabelece os limites mínimos e máximos, com a Tabela 7, observa-se que não houve diferença significativa entre as médias referentes ao ano 2010, mas constatou-se diferença significativa entre as médias referentes a 2013 para o PPI Mandacaru, não havendo diferença significativa para o PPI Tourão. Desta forma, comprovou-se ocorrência de impacto da conversão de sistemas de irrigação implantado no PPI Mandacaru em 2010 pelo Teste das Médias.

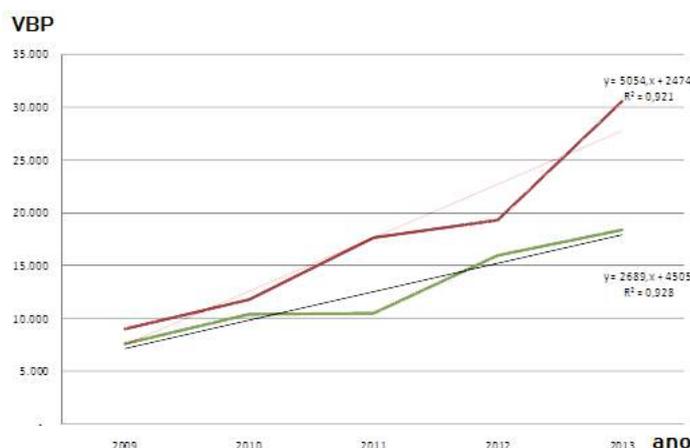


Figura 6. Evolução do valor bruto da produção (VBP, R\$ ha⁻¹ ano⁻¹) dos projetos públicos de Irrigação (PPI) Tourão e Mandacaru no período de 2010 a 2013 (Relatórios de Gestão da Codevasf).

Tabela 7. Resultados da técnica Diferenças em Diferenças (FEITOSA; MACHADO; FRANCO, 2017).

PPI	2013	2010	Diferença
Mandacaru	R\$ 15.839,57	R\$ 7.448,47	R\$ 8.391,10
Tourão	R\$ 10.415,02	R\$ 7.100,09	R\$ 3.314,93
Diferença	R\$ 5.424,55	R\$ 348,38	R\$ 5.076,17

A partir daí, foi feito o cálculo do retorno econômico deste projeto de conversão no PPI Mandacaru (tratamento) em comparação com o PPI Tourão, que representa o grupo controle.

Em 2009, a Codevasf iniciou os investimentos no valor de R\$ 3.200.000,00 para realizar a mudança dos sistemas, sendo R\$ 2.900.000,00 especificamente em aquisição e implantação de equipamentos de irrigação localizada.

Como já visto, os investimentos resultaram em uma redução do volume anual de água bombeada do Rio São Francisco da ordem de 50%. No que concerne à redução dos custos com energia elétrica, infelizmente estes não ocorreram na mesma proporção do volume bombeado, mas sua economia foi da ordem de 20 %, isto por causa da denominada Demanda Contratada, que é um ônus pago para se ter a energia disponível com potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, estando ou não o sistema em funcionamento.

A partir de um estudo um minucioso das receitas e dos custos de produção das culturas irrigadas no PPI Mandacaru, demonstrou-se nítidas diferenças entre os sistemas de produção preconizados para os 2 (dois) métodos de irrigação: superfície e localizada.

Os investimentos, as receitas, os custos culturais e operacionais, observados no período de 2010 a 2013, foram atualizados pelo INPC até novembro de 2015. Para o estudo econômico, foi considerada a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que é a mais adequada para o período analisado e para os estudos posteriores. O custo de oportunidade, contabilizado como receita, foi atribuído à energia elétrica gerada pelo volume de água economizado a cada ano, no valor de R\$ R\$ 129.634,09/ano.

Os dados de investimentos, custos e receitas dos grupos de tratamento e controle foram analisados visando determinar a relação B/C, a TIR e o VPL dos agricultores familiares dos PPI Mandacaru e Tourão, a análise financeira do PPI Mandacaru (grupo tratamento) consta na Tabela 8. A análise financeira do PPI Tourão (grupo controle) consta na Tabela 9.

Tabela 8. Resumo da análise financeira do PPI Mandacaru período 2010-2013 (FEITOSA, MACHADO; FRANCO, 2017).

Ano	VBP	Benefício Bruto	Custos Totais	Benefício Líquido
2010	R\$ 4.273.133,76	R\$ 4.273.133,76	R\$ 9.803.806,13	-R\$ 5.530.672,37
2011	R\$ 6.941.579,83	R\$ 7.071.213,90	R\$ 3.832.277,56	R\$ 3.238.936,34
2012	R\$ 6.543.721,56	R\$ 6.665.925,62	R\$ 3.612.629,68	R\$ 3.053.295,94
2013	R\$ 6.161.696,39	R\$ 6.276.766,12	R\$ 3.401.722,86	R\$ 2.875.043,26
Total Benefícios		R\$ 24.287.039,40	R\$ 20.650.436,23	

B/C: 1,176. VPL: R\$ 2.505.936,06. TIR: 31,0%.

Tabela 9. Resumo da análise financeira do PPI Mandacaru período 2010-2013 (FEITOSA, MACHADO; FRANCO, 2017).

Ano	VBP	Benefício Bruto	Custos Totais	Benefício Líquido
2010	R\$ 2.106.883,49	R\$ 2.106.883,49	R\$ 2.049.793,74	R\$ 57.089,75
2011	R\$ 1.978.851,78	R\$ 1.978.851,78	R\$ 1.925.231,28	R\$ 53.620,50
2012	R\$ 1.865.433,43	R\$ 1.865.433,43	R\$ 1.814.886,20	R\$ 50.547,23
2013	R\$ 1.756.528,65	R\$ 1.756.528,65	R\$ 1.708.932,39	R\$ 47.596,26
Total Benefícios		R\$ 7.707.697,35	R\$ 7.498.843,61	

B/C: 1,028. VPL: R\$ 181.721,43.

A análise financeira demonstrou que houve maior impacto do projeto de conversão dos sistemas de irrigação no PPI Mandacaru, implantado em 2010, quando comparado ao grupo controle (PPI Tourão) no período compreendido entre 2010 e 2013.

O PPI Mandacaru apresentou VPL de R\$ 2.505.936,06, relação B/C de 1,176 e TIR igual a 31%, enquanto o PPI Tourão apresentou VPL de R\$ 181.721,43 e relação B/C igual a 1,028. A TIR do PPI Tourão não pôde ser calculada porque não houve investimento inicial (2010).

Esses resultados demonstram a efetividade dos investimentos realizados através do projeto de conversão dos sistemas de irrigação no PPI Mandacaru, implantado pela Codevasf no ano de 2010. Assim, ajudaram a decidir pela replicação da metodologia adotada no PPI Mandacaru em 4 (quatro) PPI: Maniçoba (BA), Curaçá (BA), Tourão (BA) e Bebedouro (PE).

A metodologia adotada neste trabalho poderá servir como base para a adoção da avaliação de impacto dos investimentos em projetos públicos de irrigação, atenuando a complexidade do tema e tornando os dados acessíveis aos gestores, às associações de irrigantes e aos irrigantes dos PPI. A sistematização dos indicadores e resultados servirão para orientar o planejamento, a execução e o monitoramento das atividades desenvolvidas nesses projetos para que eles alcancem maiores eficiência, eficácia e efetividade.

10.6 Replicação para novos projetos

Devido aos resultados contundentes obtidos no Projeto Mandacaru, principalmente no que diz respeito ao uso eficiente da água na irrigação, geração de renda e aumento de produtividade, o Ministério da Integração solicitou a Codevasf, no ano de 2012, que elaborasse projetos executivos para atender a produtores ocupantes de lotes familiares com vistas à conversão dos sistemas de irrigação parcelares nos Projetos Públicos de Irrigação (PPI) localizados na região do submédio do rio São Francisco, onde está inserido o Polo Juazeiro-Petrolina, com base na Metodologia Mandacaru desenvolvida.

Os PPI que foram atendidos foram Bebedouro (Petrolina-PE), Curaçá, Maniçoba e Tourão (Juazeiro-BA). Um dos motivos para tanto é que a área de irrigação por superfície com sistemas de irrigação por sulco nos lotes agrícolas familiares representava mais de 4.000 ha e, via de regra, os produtores donos desses lotes não tinham condições financeiras para arcar com a conversão de sistemas sem não houvesse um estímulo ou incentivo para tanto.

Desta feita, em 2013, a Secretaria Nacional de Irrigação - SENIR, órgão do Ministério da Integração, fez o destaque orçamentário para que a Codevasf pudesse realizar a licitação e, assim, selecionar e contratar a empresa para desenvolver os projetos executivos para cada lote integrante dos projetos selecionados.

A Codevasf, procedeu então a contratação da empresa que elaboraria os projetos executivos de irrigação parcelar em lotes agrícolas familiares e faria a análise do sistema hidráulico geral desses lotes localizados nos respectivos projetos públicos de irrigação Tourão, Maniçoba e Curaçá, localizados no município de Juazeiro, Estado da Bahia e do PPI Bebedouro, localizado no município de Petrolina, Estado de Pernambuco. No total, foram elaborados 528 projetos executivos para produtores ocupantes de lotes familiares perfazendo uma área de 4.042,55 ha.

Visando a elaboração dos projetos para sistemas com gotejamento foram elaborados testes de bulbo (Pela 1ª vez exigido em Edital no Serviço Público, esta inovação foi incorporada ao Protocolo Mandacaru e passou a ser integrante como condição obrigatória em projetos com sistemas de irrigação baseados na tecnologia de gotejamento). Estes testes determinam a relação entre as distintas vazões de emissores e seu tempo de aplicação na formação do referido bulbo molhado, determinando o percentual de área molhada e o espaçamento máximo entre emissores. Além disso, foram também elaborados testes de velocidade de infiltração de

água no solo, o que resultaram em projetos extremamente detalhados e com o um nível de precisão bem apurada.

Em função da análise dos estudos de solos e dos mapas com as manchas irrigáveis, foram executados, para os quatro projetos públicos de irrigação, 33 testes pedológicos, assim distribuídos: (i) projeto Curaçá: 14 testes; (ii) projeto Maniçoba: 13 testes; (iii) projeto Bebedouro: 3 testes, e (iv) projeto Tourão: 3 testes.

Assim, cada um dos 528 produtores recebeu um caderno contendo todo detalhamento de projeto, o respectivo orçamento com os custos unitários, o cadastro agrícola do lote e a assinatura do proprietário dando o de acordo, além da anotação de responsabilidade técnica do engenheiro responsável pelo projeto e de todos os estudos e diagnósticos preconizados na Metodologia Mandacaru.

Na Tabela 10, observa-se que para os 528 lotes atendidos com os respectivos projetos executivos o investimento necessário seria da ordem de R\$ 38 milhões em 2013.

Tabela 10. Demonstrativo por projeto público de irrigação dos custos de investimentos necessários (equipamentos e obras), para atendimento aos quantitativo de lotes atendidos com os projetos executivos e a área de projeto respectiva a ser beneficiada com a conversão de sistemas, ano base 2013.

Projeto	Lotes	Área de Projeto (ha)	Investimentos (R\$)		Total (R\$)
			Equipamentos	Obras	
Bebedouro	98	868,22	6.854.243,77	2.000.575,68	8.855.687,67
Curaçá	203	1.435,97	9.531.489,25	3.663.790,93	13.196.716,15
Maniçoba	191	1.532,47	10.249.515,65	3.692.486,98	13.943.535,10
Tourão	36	205,89	1.710.123,23	601.952,96	2.312.282,08
Total	528	4.042,55	28.345.371,90	9.958.806,55	38.308.221,00

Relatório da empresa Hydros Engenharia e Planejamento Ltda. (Contrato 0.138.00/2013/Codevasf). Valor médio do dólar em 2013: R\$ 2,15).

Tabela 11. Demonstrativo por projeto público de irrigação da redução do volume de água bombeado e percentual de economia de energia da energia das estações de bombeamento coletivas a partir da estimativa projetada pelos projetos executivos elaborados. V₁: Volume médio bombeado anualmente (m³). V₂: Volume de água economizado (m³). P₁: % de volume economizado de água. P₂: % de energia economizada das estações de bombeamento coletivas.

Projeto	V ₁	Estimativas de projeto (anual)		
		V ₂	P ₁	P ₂
Bebedouro	26.900.372,71	15.801.278,93	59	35
Curaçá	40.885.623,28	28.808.010,16	70	48
Maniçoba	43.846.181,50	30.262.634,47	69	34
Tourão	7.399.512,31	4.346.473,53	59	42
Total	119.031.689,79	79.218.397,09		

Relatório da empresa Hydros Engenharia e Planejamento Ltda. (Contrato 0.138.00/2013/Codevasf). Valor médio do dólar em 2013: R\$ 2,15).

Em tempos de crise hidrológica provocada pela escassez de chuvas na Bacia do Rio São Francisco, além dos ganhos ambientais e de economia de água há ainda uma economia de energia para as estações de bombeamento coletivas que captam as águas do Rio São Francisco e distribuem para os respectivos lotes agrícolas, conforme Tabela 11 a seguir.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 11, partindo-se da premissa de que na região do semiárido brasileiro o consumo humano de água é de no máximo 100 litros/dia/pessoa, considerou-se que a economia de água que a conversão dos sistemas de irrigação parcelares poderia proporcionar é da ordem de 79 bilhões de litros anuais (79.000.000 m³). O que representa o atendimento diário de uma população de mais 2 milhões de pessoas, conforme Tabela 12, para um consumo diário *per capita* 100 litros dia⁻¹.

Tabela 12. Estimativa de população beneficiada com a previsão de economia de consumo de água da irrigação promovida pela conversão dos 528 sistemas. (A) m³ ano⁻¹. (B) m³ dia⁻¹ [(A)/365]. (C) Consumo humano (L dia⁻¹ pessoa⁻¹). (D) Estimativa da população beneficiada diariamente (pessoas) [(B).1000/(C)].

Economia de água esperada			
(A)	(B)	(C)	(D)
79.000.000	216.438,36	100	2.164.383

Além disso, os estudos realizados para a execução dos projetos executivos, preconizados pelo Protocolo Mandacaru, apontaram ganhos na área cultivada, na produção e no valor bruto de produção que acabam impactando na geração de emprego, renda e na arrecadação de tributos. Na Tabela 12 são apresentadas algumas estimativas obtidas pelos estudos.

O objetivo de um projeto de investimento é aumentar o valor da empresa, concluindo que "o investimento será atraente se o fluxo de caixa da empresa com investimento for maior que o fluxo de caixa da empresa sem investimento, caso contrário não teria nenhuma vantagem realizar o investimento (LAPPONI, 2000)". A conversão dos sistemas de irrigação em lotes de Projetos Públicos de Irrigação demonstra que além de viável economicamente, podem promover outros ganhos sociais e ambientais que a princípio não foram percebidos ou se demonstravam intangíveis.

Tabela 13. Produção agrícola atual e projetada após a conversão dos sistemas com relação a área cultivada (A, ha), produção agrícola (PA, t) e valor bruto da produção (VBP, R\$) por Projeto.

Projeto	Produção agrícola atual			Produção agrícola projetada		
	A	PA	VBP	A	PA	VBP
Bebedouro	694,03	22.316,74	30.153.234,33	694,03	34.849,07	42.335.540,65
Curaçá	1.284,75	58.579,43	44.245.145,84	1.290,59	65.766,80	50.934.865,20
Maniçoba	2.367,62	61.948,80	43.270.212,80	2.367,62	89.549,47	66.605.605,90
Tourão	251,23	5.992,68	5.519.662,40	270,35	9.324,40	8.379.285,75
Total	4.597,63	148.837,65	123.188.255,37	4.622,59	199.489,74	168.255.297,5

10.7 Desafios e oportunidades

A sustentabilidade da agricultura irrigada é influenciada diretamente pelo manejo adequado da água aplicada nos sistemas agrícolas, através de avaliações do consumo hídrico das culturas e das condições ambientais locais. Todavia, a modernização ou conversão de sistemas de irrigação pode também favorecer, além dos ganhos de produtividade, para minimizar os efeitos cada vez mais frequentes das mudanças no regime de chuvas e a escassez de recursos hídricos e, assim, contribuir para garantir a prática de uma agricultura irrigada mais sustentável e propiciar inclusive a disponibilidade de água nos mananciais existentes para outros usos, destarte o consumo humano.

Um dos desafios da agricultura irrigada é demonstrar que é grande aliada na produção de alimentos e não só uma consumidora de água. Para tanto é preciso ampliar a visão, é preciso se pensar na bacia hidrográfica como um todo com vistas a preservação dos recursos hídricos e o seu uso eficiente e estabelecer planos que favoreçam a melhoria da gestão dos recursos hídricos a começar pela modernização dos sistemas de irrigação ou mesmo a conversão de sistemas com mudanças do método de irrigação.

A agricultura brasileira é uma das maiores do mundo tanto na produção de alimentos quanto na produção de energia renovável. Ela terá um papel cada vez mais importante na produção de alimentos para o Brasil e o mundo, mas que só poderá desenvolver todo o seu potencial com o acesso e o uso adequado das tecnologias desenvolvidas e a irrigação é a grande ferramenta para tal. Em tempos de mudanças climáticas, cada gota de água importa na produção agrícola. É preciso fazer gestão e uso racional do recurso água e discutir melhor o uso das águas superficiais e subterrâneas, assim como, das infraestruturas necessárias para sua implementação.

A irrigação em projetos públicos de irrigação por ter tudo isso a seu dispor deve ser muito bem manejada e a gestão da água deve ser feita com muito profissionalismo e utilizando-se das ferramentas adequadas. Grandes oportunidades se descortinam com advento da agricultura 4.0 e uso de sistemas integrados para otimização do uso de insumos agrícolas, mormente a água.

Mas para isso é importante vencer alguns desafios, tais como (BASSOI *et al.*, 2017): (i) melhorar a integração dos entes governamentais envolvidos para que possam formular políticas do setor agrícola para incentivar à prática agricultura irrigada bem como incentivos, (ii) promover a pesquisa para desenvolvimento de equipamentos de irrigação, de culturas para desenvolvimento de cultivares que possam responder produtivamente ao uso de irrigação ou que sejam mais resistentes às condições adversas e produzam satisfatoriamente com pouca água, de sistemas de automação para integração das atividades rurais, etc., (iii) promover a capacitação com o foco na agricultura irrigada e principalmente na agricultura 4.0 de alta precisão, (iv) fomentar a assistência técnica auto patrocinada pelos produtores, pois os serviços passam a ter o controle de qualidade feito por quem efetivamente se utiliza dos mesmos, (v) criar condições para desonerar a compra de equipamentos que possam ajudar no uso eficiente da água na agricultura, e (vi) promover a gestão integrada de recursos hídricos com uma visão ampliada na bacia como um todo, como por exemplo definindo limites de uso dos recursos hídricos na agricultura em volume anual por tipo de cultura ou atividade agrícola amarrados ao seu retorno socioeconômico e ambiental, para que em momentos de crise na bacia possam ser priorizados aqueles plantios que favorecem uma maior geração de emprego e renda com um menor consumo de água em desfavor de outro que não tenha um desempenho tão significativo.

10.8 Considerações finais

O Brasil apresenta grande variabilidade com relação a eficiência de uso da água na irrigação. Isto se deve ao fato que a irrigação é uma atividade complexa e que precisa de acompanhamento, mas as oportunidades são grandes, é preciso ter vontade para encarar e desmistificar alguns conceitos errôneos a respeito da agricultura, principalmente da agricultura irrigada, no que diz respeito ao uso dos recursos hídricos. Se o Brasil quiser se manter como parte da solução no fornecimento de alimentos para o mundo é preciso acreditar na agricultura irrigada e tirar as amarras para que ela possa voltar a ter importância no cenário nacional, com políticas públicas que fomentem o setor da irrigação.

Referências

- BASSOI, L.H.; GONDIM, R.S.; RESENDE, R.S.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. A agricultura irrigada no nordeste do Brasil: estado da arte, desafios e oportunidades. In: RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. (Ed.). **Agricultura irrigada: desafios e oportunidade para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Inovagri, p.131-166, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168474/1/Agricultura-Irigada.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- BRUINSMA, J. **The resource outlook to 2050: by how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050**. Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Rome, FAO and ESDD, 2010. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ak542e/ak542e06.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- DOURADO, A.; FREIRE JÚNIOR, E.; MACHADO, F.O.C.; MOREIRA, M.; LIMA, R.G.; SANTOS, R.L.F. **Perímetros públicos de irrigação: propostas para o modelo de transferência da gestão**. Trabalho de conclusão de curso (MBA em gestão pública) - Fundace e Codevasf. Brasília, 72p., 2006.
- EFFERTZ, R. Operação e manutenção de projetos de irrigação. In: **Manual de irrigação**. Brasília: Bureau of Reclamation, Codevasf, v.4, 2002.
- FEITOSA, A.C.; MACHADO, F.O.C.; FRANCO, R.R.V. Avaliação econômica da conversão de sistemas de irrigação no perímetro Irrigado Mandacaru, em Juazeiro, no estado da Bahia. In: Congresso CONSAD de Gestão Pública, 10, 2017, Brasília. **Anais**. Brasília: CONSAD, 2017. Disponível em: http://consad.org.br/wp-content/uploads/2017/05/Painel-18_02.pdf. Acesso em: 10 nov. 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global forest resources assessment 2010**. 163p. Rome, 2010. Disponível em: http://foris.fao.org/static/data/fra2010/FRA2010_Report_en_WEB.pdf. Acesso em: 10 nov. 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW): managing systems at risk**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- HECTA CONSULTORIA E ADMINISTRAÇÃO. **Distrito de irrigação: possível contribuição da experiência dos Estados Unidos na concepção de um modelo brasileiro**. São Paulo: Hecta, Codevasf, 1987.
- HEINZE, B.C.B. **A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região Nordeste do Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) - Fundação Getúlio Vargas, Brasília, Ecobusiness School, 2002.
- LAPPONI, J.C. **Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa**. São Paulo, SP. Laponi Treinamento e Editora, 2000.
- MENEZES FILHO, N.A.; PINTO, C.C.X. (Org.). **Avaliação econômica de projetos sociais**. 3. ed., Fundação Itaú Social, São Paulo, SP, 2017. Disponível em: https://www.itausocial.org.br/wp-content/uploads/2018/05/avaliacao-economica-3a-ed_1513188151.pdf. Acesso em: 12 nov. 2020.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A irrigação no Brasil: situação e diretrizes**. Brasília: IICA, 2008.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria Nacional de Irrigação. **Desafios para a transferência de gestão dos perímetros públicos de irrigação**: proposta para a efetiva emancipação. Relatório. Brasília, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population prospects**: the 2008 revision population database. New York, 2009.

RODRIGUES, L.N.; ZACCARIA, D. **Agricultura Irrigada**: um breve olhar. Fortaleza: Inovagri, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218656/1/Lineu-Ebook-AgriculturaIrrigada-um-breve-olhar-VF.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. **Brasil 2040**. Brasília: SAE/PR, 2014.

CAPÍTULO 11

11 ESCASSEZ HÍDRICA E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO NO SETOR AGROPECUÁRIO

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Resumo

Os maiores desafios para a expansão da agricultura irrigada são baseados na combinação, água, terras disponíveis, clima favorável e culturas com mercado viável. Em regiões áridas e semiáridas, o principal limitador, na maioria das vezes é a disponibilidade hídrica. Para otimizar o uso das terras e assim fazer essa a conexão ideal, o melhor caminho é trabalhar com atividades agrícolas de alto valor agregado e que possuam menor consumo de água. Geralmente, na agricultura irrigada, os cultivos que geram maior receita bruta, também propiciam mais e melhores empregos, pois exigem dedicação ao processo produtivo e melhor conhecimento tecnológico. Neste sentido é que este capítulo propõe uma nova abordagem para regiões com restrição hídrica propondo, tomar como referência os indicadores baseados em segurança: (i) produtiva, (ii) econômica, (iii) social e (iv) hídrica, incentivando a inovação tecnológica e um planejamento para o desenvolvimento econômico no setor agropecuário. As ações propostas neste texto poderão servir de modelo para políticas públicas em regiões semiáridas.

11.1 Introdução

A melhoria da gestão dos recursos hídricos na agricultura é um objetivo prioritário em todo o mundo, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro. Um dos maiores desafios no futuro próximo será aumentar a produção de alimentos utilizando menos água, particularmente em países com recursos hídricos limitados. (CÓRCOLES *et al.*, 2016). O aumento do uso de água pode implicar em restrição sobre sua disponibilidade para uso em terras irrigadas. Além disso, a escassez de água, típica das regiões áridas e semiáridas, juntamente com uma tendência de aumento nos custos de produção, estabelece incertezas sobre a agricultura irrigada, que está relacionada ao desenvolvimento. Uma das características mais importantes da agricultura irrigada é que ela deve ser sustentável para garantir sua viabilidade (MATEOS *et al.*, 2018).

O Estado do Ceará tem sido ágil na ampliação da infraestrutura de oferta hídrica que dê suporte aos novos investimentos de capital, público e privado, que se instalaram nessa nova fase de desenvolvimento da economia. Entretanto, esta demanda crescente, fruto da política de fomento do poder público ao desenvolvimento de diversos setores da economia, tornou-se necessário o estabelecimento de novas metodologias de gerenciamento das águas do estado. Com vistas a otimizar a gestão dos recursos hídricos do Estado, surgiu a necessidade do desenvolvimento de ferramentas baseadas em processo decisório, capazes de contribuir para um melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, com o propósito de contribuir para a melhoria e definição de estratégias de gestão pública, dentro dos interesses socioeconômicos do Estado (LIMA, 2020).

O que iremos apresentar neste capítulo é uma metodologia de promoção do desenvolvimento econômico em situações de escassez hídrica, tendo como premissas, e eficiência no uso da água e a escolha de culturas agrícolas que possuem bons indicadores baseados em segurança produtiva, econômica, social e hídrica.

11.2 Contextualização

Nos últimos anos, o governo brasileiro realizou várias melhorias na agricultura irrigada, como investimento em novas instalações hidráulicas e reabilitação de sistemas mais antigos. Nos distritos de irrigação, o desempenho do sistema quanto à eficiência não é alto, possivelmente não só devido à infraestrutura (MATEOS *et al.*, 2018), mas também pelo manejo inadequado da irrigação. Uma maneira de melhorar a gestão dos recursos hídricos escassos é aumentar a eficiência do uso da água, realizando investimentos em conhecimento e capacitação humana.

O estado do Ceará foi um dos pioneiros em experiências de gestão dos recursos hídricos no Brasil e, como a maioria dos estados, implantou instrumentos e mecanismos próprios para o tratamento social, político e ambiental das águas que dispõe. Esse Estado vem passando por um período de dificuldades climáticas. O último bom inverno foi em 2011, sendo que 2016 foi o quinto ano consecutivo de chuvas muito abaixo da média histórica, sendo insuficientes para produzir boas safras e manter o nível dos reservatórios, influenciando negativamente por uma razão ou outra, todas as cadeias produtivas da agropecuária, inclusive a agricultura irrigada, reduzindo a produção e exportação do setor. A partir de 2017 iniciou-se uma recuperação rápida ou lenta conforme cada setor, que permaneceu até 2020 e deve continuar em 2021, visto que em 2020 ocorreu uma precipitação média satisfatória que contribuiu para uma boa reserva hídrica que deverá garantir o fornecimento de água para a atual área irrigada das regiões produtoras, além da chegada das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF.

O segmento primário da agropecuária cearense é composto por atividades de agricultura de sequeiro, agricultura irrigada, pecuária e aquicultura, que em conjunto sustentam os empregos diretos no campo e geram em torno de R\$ 5,5 bilhões de VBP – Valor Bruto da Produção na lavoura, pecuária e aquicultura, contribuindo ainda para o setor industrial e sendo responsável por boa parte das exportações cearenses. De acordo com o último censo realizado pelo IBGE em 2017/2018, o pessoal ocupado no setor agropecuário do Ceará é de 928,6 mil pessoas, que vivem em 394,3 mil propriedades em 6,9 milhões de hectares.

A pecuária é o mais forte setor da agricultura cearense, destacando-se a bovinocultura de leite, a avicultura, a ovino-caprinocultura e a apicultura. A bovinocultura de leite destaca-se em um momento único em termos de tecnologia, mercado e geração de renda. Foi um setor que cresceu nos anos de escassez hídrica e que possui o maior VBP do setor agropecuário cearense.

A aquicultura cearense, com seus produtos de alto valor agregado, camarão e a tilápia, é um setor de grande potencial e precisa ser fortalecido com ações que envolvam tecnologia para maior produtividade e eficiência no uso da água. A tilápia é um dos carros-chefes dos peixes de cultivo no Brasil.

Fora do continente, temos um grande potencial no mar e o setor de pesca marítima no estado do Ceará foi outro que teve grande crescimento nos últimos anos, principalmente a exportação de Pescados, Lagosta e o Atum, recém introduzido na economia estadual e com grande potencial com a abertura do mercado europeu este ano de 2021.

A agricultura de sequeiro é extremamente influenciada pelo clima, variando ano a ano ao sabor do regime de chuvas, que, normalmente, são irregulares no tempo e no espaço, como acontece de resto em todo o semiárido, no qual mais de 95% dos municípios do Estado (175 municípios dos 184) estão inseridos. Os produtos principais são milho, feijão, castanha de caju, mandioca e frutas, além da tradicional cera de carnaúba, que juntos somam cerca de 1,5 milhões de hectares plantados, entre culturas permanentes e temporárias.

Embora seja o mais recente setor da agropecuária cearense, a agricultura irrigada é o mais dinâmico, pois representando apenas 5% da área plantada total responde por 48,9% do VBP (Figura 1).

CEARÁ - AGRICULTURA IRRIGADA X AGRICULTURA SEQUEIRO (2020)						
AGRICULTURA	ÁREA (ha)		PRODUÇÃO (t)		VALOR DA PRODUÇÃO (R\$mil)	
AG. SEQUEIRO	1.438.813	95,3%	3.968.423	69,4%	2.221.150	51,1%
AG. IRRIGADA	71.232	4,7%	1.752.182	30,6%	2.124.450	48,9%
TOTAL	1.510.045	100,0%	5.720.605	100,0%	4.345.600	100,0%

Fonte: IBGE/REAGRO, DNOCS, DAS, SRH, ADECE, INST.AGROPOLOS
Elaboração: SEDE T/san

Figura 1. Comparação entre Agricultura Irrigada x Agricultura de Sequeiro no estado do Ceará em 2020.

A Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho (SEDET) do Governo do Estado do Ceará possui quatro Secretarias Executivas que são elas: Secretaria Executiva da Indústria, do trabalho e empreendedorismo, do comércio, serviços e inovação e a do agronegócio. Esta última possui três objetivos principais: (i) aumentar o PIB no setor agropecuário cearense, (ii) gerar emprego no setor, (iii) aumentar a renda média no campo.

A SEDET possui como uma das estratégias para aumentar o valor agregado neste setor, a introdução de novas culturas que possuem maior valor agregado, menor consumo de água e maior geração de empregos. Este é um dos objetivos do Governo do Estado do Ceará traduzido no programa de eficiência no uso da água no setor agropecuário. Culturas como o Morango, Pimentão, Tomate, Pitaya, Cacau, Caqui, Romã e Mirtilo têm sido alternativas interessantes de produção nos campos irrigados cearense, pois geram renda ao produtor e mais empregos, com pouco uso de água.

Nesta vertente de culturas alternativas de maior valor agregado, destacamos, mesmo sendo uma cultura tradicional no Estado, a Cajucultura, que, se tratada como uma cultura em outros modelos de produção: adensada, fertirrigada, com podas intensivas e colheita padronizada, pode assim obter altas produtividades e maior valor agregado no caju e na castanha.

O Ceará não tem uma grande área possível de ser irrigada, porém possui mercados demandantes de frutas e vegetais de alto valor agregado que poderá atrair bons investimentos no setor. Características especiais como: localização estratégica no Oceano Atlântico que facilitam a exportação, clima favorável para a irrigação, infraestrutura logística moderna e defesa agropecuária com áreas livre de pragas, permitem o Estado pensar em ampliar no futuro o número de aproximadamente 73 mil ha produzidos com irrigação em 2020, para até 286 mil ha estimados pela Agência Nacional de Águas (ANA) para ser irrigado no Estado.

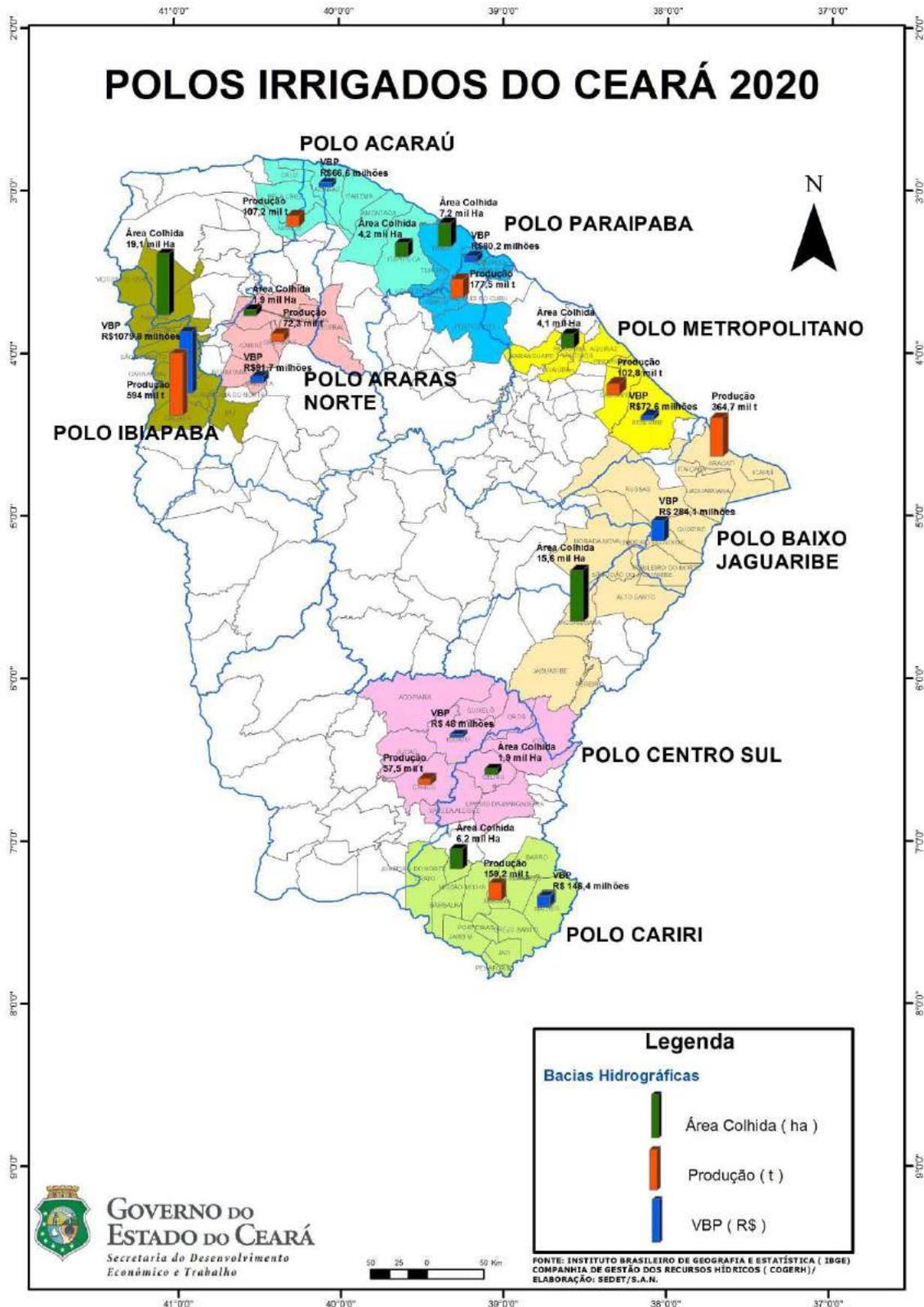


Figura 2. Impacto das culturas de alto valor agregado no VBP.

Além disso, para valorizar a água aplicada neste setor deve-se promover a introdução de novas culturas que possuem maior valor de comercialização, menor consumo de água e maior geração de empregos. Como exemplo, podemos observar na Figura 2, o Valor Bruto da Produção – VBP, a produção e a área irrigada dos polos de produção do Estado do Ceará. Pelos resultados apresentados, podemos observar, pela Figura 3, que a produtividade do Polo

do Jaguaribe é bem menor do que o Polo da Ibiapaba. Isso se deve ao fato de que a região do Jaguaribe possui culturas de menor valor agregado, além de aproximadamente ter 2 mil ha com a cultura do arroz com baixas produtividades e alto consumo hídrico. Na Ibiapaba, essa área irrigada possui hortaliças, frutas e flores que geram, além de maior riqueza, maior geração de emprego e menor consumo de água, tanto pelo clima, mas também por várias áreas em ambiente protegido.

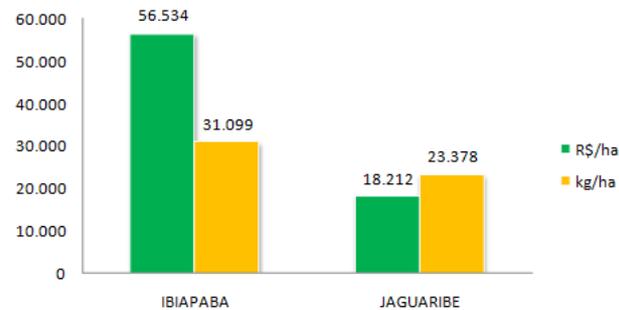


Figura 3. Produtividade das culturas nos polos de Ibiapaba e Jaguaribe em 2020.

11.3 Ações estratégicas para o setor de agronegócio no estado do Ceará

De acordo com Frizzone *et al.* (2020), indicadores socioeconômicos são parâmetros importantes para se ter uma perspectiva da influência da produção, receita, consumo hídrico e geração de empregos das culturas irrigadas. Para analisar o desempenho das culturas irrigadas na sub-bacia do Baixo Jaguaribe foram utilizados indicadores de desempenho socioeconômicos agrupados em quatro quesitos, cada um composto por dois indicadores (Tabela 1): (i) segurança produtiva: produtividade da terra (kg ha^{-1}), e produtividade da água (kg m^{-3}), (ii) segurança econômica: rentabilidade por unidade de área ($\text{R\$ ha}^{-1}$), e rentabilidade por quantidade de água aplicada ($\text{R\$ m}^{-3}$), (iii) segurança social: quantidade de empregos gerados por unidade de área (empregos ha^{-1}), e empregos por unidade de volume de água aplicada (empregos m^{-3}), e (iv) segurança hídrica: quantidade de água utilizada na irrigação por unidade de área, ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), e duração do ciclo da cultura. Após a análise dos quesitos e a definição dos pesos aplicados aos indicadores, realiza-se o cálculo do corte hídrico (CH), permitindo definir quais culturas teriam maior prioridade em caso de escassez hídrica. Cultivos com menor CH possuem prioridade de uso da água na Bacia.

Tabela 1. Quesitos de análise para o setor demandante e alocação de água em condições de restrição hídrica e os respectivos indicadores a que se relacionam.

Quesitos	Indicador 1	Indicador 2
Segurança produtiva	kg ha^{-1}	kg m^{-3}
Segurança econômica	$\text{R\$ ha}^{-1}$	$\text{R\$ m}^{-3}$
Segurança social	Empregos ha^{-1}	Empregos m^{-3}
Segurança hídrica	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Ciclo do cultivo

Na Figura 4 temos a produtividade da água (kg m^{-3}) e a rentabilidade por quantidade de água aplicada ($\text{R\$ m}^{-3}$) que são dois exemplos de indicadores utilizados na sub-bacia do Baixo Jaguaribe.

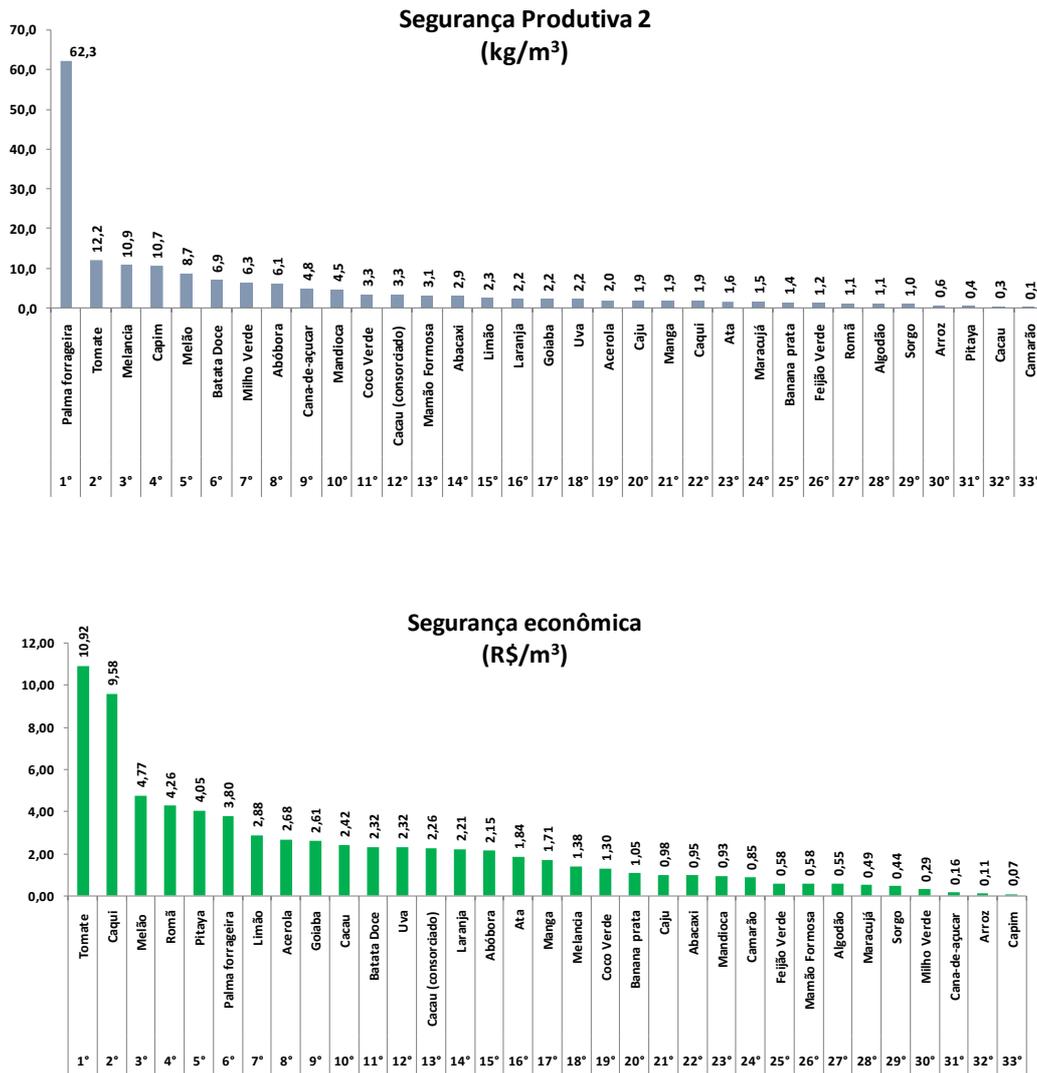


Figura 4. Segurança produtiva e segurança econômica para a sub-bacia do Baixo Jaguaribe, CE.

Para que se possa promover um aumento do VBP e maior geração de emprego e aumento da renda média no campo, entendemos que as prioridades para o setor agropecuário são: (i) definição dos indicadores e incentivos para o uso criterioso da água: definir indicadores conforme a metodologia proposta por Frizzone *et al.* (2020) para priorizar a alocação de água e criar mecanismos de outorga simplificada, (ii) assistência técnica especializada: viabilizar assistência técnica especializada como forma de incentivo para os agricultores que tiverem suas ações focadas nas culturas estratégicas, ou seja, aquelas que tiverem melhores indicadores, (iii) eficiência no uso da água: estabelecer um plano de monitoramento climático da área cultivada ao longo das bacias, servindo também como forma de assessoramento ao agricultor/usuário de água similar ao trabalho realizado por Córcoles *et al.* (2016), Keller *et al.* (2014) e Lima *et al.* (2012) apresentando um modelo ideal e “laboratório” de observação e experimentação de um Serviço de Assessoramento ao Irrigante (SAI), (iv) fomentar a introdução de novas tecnologias e culturas: transformar a fruticultura irrigada e floricultura em agricultura de alto desempenho e valor agregado através da eficiência do uso da água, alta produtividade e uso de tecnologia, (v) modernizar a Defesa Agropecuária e a legislação vigente: promover e implantar programas e ações de defesa agropecuária contribuindo com o desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro, possibilitando as garantias para a preservação da vida e da saúde humana e animal; do meio ambiente; da segurança alimentar;

e do acesso a mercados, e (vi) atrair Investimentos direcionados e promover o Agronegócio Cearense: promover o Estado e atrair investidores nacionais e internacionais para fomentar investimentos no agronegócio cearense.

11.4 Considerações finais

Acreditamos que com essas ações propostas, resultados positivos para o desenvolvimento econômico do meio rural do Ceará serão obtidos e poderão servir de modelo para regiões semiáridas no Brasil e no mundo.

Referências

- CÓRCOLES, J.I.; FRIZZONE, J.A.; LIMA, S.C.R.V.; MATEOS, L.; NEALE, C.M.U.; SNYDER, R.L.; SOUSA, F. Irrigation advisory service and performance indicators in Baixo Acaraú Irrigation District, Brazil. **Irrigation and Drainage**, v.65, n.1, p.61-72, 2016.
- FRIZZONE, J.A.; LIMA, S.C.R.V.; CAMARGO, D.C.; COSTA, F.R.B.; MAGALHÃES, J.S.B.; MELO, V.G.M.L. Indicators and criteria to define the priority for irrigation water use in the Baixo Jaguaribe basin, Brazil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, p.3875-3888, 2020.
- KELLER, J.; MATEOS, L.; GOMEZ-MACPHERSON, H.; SOUZA, F.; FRIZZONE, J.A.; LIMA, S.C.R.V. Using the Baixo Acaraú Irrigation District as a Learning Laboratory. In: LIMA, S.C.R.V.; SOUZA, F. de; VALNIR JÚNIOR, M.; FRIZZONE, J.A.; GHEYI, H.R. (Org.). **Technological innovations in irrigation engineering: impact on climate change, water quality and transfer of technology**. 1. ed. Fortaleza: 2014, v.1, p.269-276.
- LIMA, S.C.R.V. Estratégias para o desenvolvimento econômico do setor agropecuário em situações de escassez hídrica: o caso do estado do Ceará. In: Lineu Neiva Rodrigues; Daniele Zaccaria. (Org.). **Agricultura Irrigada: um breve olhar**. 1. Ed. Fortaleza: **Inovagri**, v.1, p.33-39, 2020.
- LIMA, S.C.R.V.; FRIZZONE, J.A.; SOUSA, A.E.C.; BELTRÃO JÚNIOR, J.A.; FERREIRA, R.P.; GARCIA, D.R. Aplicação da tecnologia da informação e a adoção pelo agricultor: a avaliação inicial do envio de mensagens pelo serviço de assessoramento ao irrigante. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, p.314-328, 2012.
- MATEOS, L.; ALMEIDA, A.C.S.; FRIZZONE, J.A.; LIMA, S.C.R.V. Performance assessment of smallholder irrigation based on an energy-water-yield nexus approach. **Agricultural Water Management**, v.206, n.2, p.176-186, 2018.

CAPÍTULO 12

12 POTENCIAL DA ADOÇÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Durval Dourado Neto, Pedro Alves Quilici Coutinho, Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto, Marcela Almeida de Araujo, Arthur Nicolaus Fendrich, José Lucas Safanelli, Rodrigo Fernando Maule, Ana Letícia Sbitkowski Chamma, Thiago Henriques Fontenelle e Frederico Cintra Belém

Resumo

O Brasil apresenta grande potencial para adoção da agricultura irrigada, seja devido à sua extensão territorial ou ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis ao seu desenvolvimento. O presente trabalho objetiva estimar o potencial de adoção da agricultura irrigada no Brasil, diferenciando a fração da atual área agrícola de sequeiro que apresenta potencial para ser irrigada (intensificação) e as áreas de pastagem com potencial para ampliação da produção agrícola por meio do uso da irrigação (expansão). A metodologia para obtenção da área adicional irrigável no Brasil foi dividida em três eixos de processamento: (i) área agricultável, (ii) demanda hídrica e (iii) disponibilidade hídrica. Resumidamente, os eixos buscam responder às seguintes questões: (a) Qual a área agricultável do país? (b) Qual a quantidade de água demandada pelas culturas agrícolas para suprir suas necessidades? (c) Essa demanda pode ser atendida sem comprometer os recursos hídricos existentes? Os pressupostos adotados pelo modelo alocam recursos hídricos primeiro em áreas já consolidadas de agricultura e só depois na expansão sobre pastagens. Isso aproxima os resultados das dinâmicas reais de uso da terra e da forma de tomada de decisão dos agentes econômicos. A área adicional irrigável com água superficial estimada foi de 53,41 Mha, dos quais 26,69 Mha (49,97%) são áreas de intensificação ocupadas com agricultura de sequeiro; enquanto 26,72 Mha (50,03%) são áreas de expansão ocupadas por pastagens que podem ser convertidas para agricultura irrigada.

12.1 Introdução

O desenvolvimento da agricultura irrigada tem como objetivos o ganho de eficiência produtiva, a redução de risco de quebra de safras e a viabilização da atividade agrícola em regiões com escassez ou irregularidade no regime natural das chuvas. Como alguns dos principais desdobramentos da adoção da agricultura irrigada estão a aceleração do desenvolvimento econômico e a promoção do desenvolvimento social e da segurança alimentar das populações rurais e urbanas.

O Brasil apresenta grande potencial para adoção da agricultura irrigada, seja devido à sua extensão territorial ou ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis ao seu desenvolvimento. Compreender essa potencialidade, bem como as limitações de natureza física, socioeconômica, ambiental e de infraestrutura para o desenvolvimento da agricultura irrigada, em termos quantitativos e de distribuição no território, é passo primordial para o delineamento de políticas públicas de desenvolvimento sustentável, bem como para a análise e fomento a investimentos do setor privado em projetos de irrigação.

O Brasil está entre os principais países do mundo com a maior área irrigada. Os líderes mundiais são a China e a Índia, com cerca de 70 Mha cada, seguidos pelos Estados Unidos (26,7 Mha), Paquistão (20,0 Mha) e Irã (8,7 Mha). O Brasil aparece na sexta posição (8,2 Mha) (FAO, 2020), sendo 2,9 Mha (35,5%) com fertirrigação com água de reúso e 5,3 Mha (64,5%)

com irrigação com água de mananciais (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021), seguido por Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Egito, Itália e Espanha, países que possuem área entre 4 e 7 Mha. Dos 5,3 Mha equipados para irrigação, tem-se a seguinte ocupação: 25% com arroz, 15% com cana-de-açúcar, 8% com café, 27% com as culturas anuais em pivôs centrais e 25% com as demais culturas e sistemas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2020).

Do ponto de vista da governança pública, é essencial o conhecimento espacial, qualitativo e quantitativo do potencial e das limitações para a intensificação da irrigação em áreas agrícolas de sequeiro, bem como para expansão da agricultura irrigada em áreas consolidadas de pastagens, uma vez que somente a partir desse conhecimento é possível planejar, gerir, investir, legislar, regular, orientar, avaliar e monitorar impactos da atividade.

O presente estudo, de caráter multitemático e abrangente, integra, por meio de modelagem espacialmente explícita, a dimensão física do tema (disponibilidade hídrica, aptidão agrícola e disponibilidade de área consolidada) com realidades ambientais (áreas protegidas, vegetação natural, entre outras) para apontar áreas com potencial de adoção da agricultura irrigada.

Neste sentido, com o objeto de estimar o potencial de adoção da agricultura irrigada no Brasil, o estudo diferencia a fração da atual de área consolidada com produção agrícola de sequeiro que apresenta potencial para ser irrigada (áreas de intensificação) e as áreas consolidadas com pastagem com potencial para ampliação da produção agrícola por meio do uso da irrigação (áreas de expansão).

A ideia é que o estudo seja indutor da adoção de metodologias cada vez mais adequadas à formulação de estratégias, planos e programas que contemplem a diversidade territorial, o aproveitamento sustentável das potencialidades dos recursos hídricos disponíveis e das culturas agrícolas, contribuindo para que a agricultura irrigada seja um instrumento harmônico em cada território, promotor do desenvolvimento regional.

Vale ressaltar que este estudo é parte de um projeto de cooperação técnica (PCT) executado pelo grupo de políticas públicas (GPP) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq), da Universidade de São Paulo (USP), sob coordenação do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), denominado 'Plano de ação imediata da agricultura irrigada no Brasil para o período 2020-2023' (GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2020).

O PCT, por sua vez, é um desdobramento e um aprimoramento, em termos metodológicos e de bancos de dados geoespaciais, de estudos anteriores também executados pelo GPP, sendo eles: (i) 'Análise territorial para o desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil', desenvolvido em 2013 junto ao então Ministério da Integração Nacional (MI) (GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2015), e (ii) 'Promoção da gestão integrada e no uso sustentável dos recursos hídricos no meio rural' desenvolvido em 2017 junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) (GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2017).

12.2 Metodologia

12.2.1 Conceitos e variáveis da análise territorial

A mensuração do potencial de adoção da agricultura irrigada no Brasil contemplou modelagem espacial complexa, a partir da sistematização de um conjunto integrado de parâmetros e indicadores capazes de retratar as condições locais e regionais da matriz de produção predominante, do perfil de agricultores, da aptidão agrícola das terras, das restrições ambientais e das potencialidades para a utilização da irrigação no Brasil, de modo integrado.

O estudo realizou uma análise robusta e refinada da chamada “variável territorial de irrigação”, a partir da mensuração do potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil, diferenciando a fração da atual área agrícola de sequeiro que apresenta potencial para ser irrigada (áreas de intensificação) e as áreas de pastagem com potencial para expansão da produção agrícola por meio do uso da irrigação (áreas de expansão).

12.2.2 Premissas do estudo

Como premissa inicial deste estudo, foram consideradas somente as áreas que possuem potencial (físico) para adoção da irrigação, excluindo-se do processamento todas as áreas de proteção pública ou as que apresentam *deficit* ambiental, por exemplo, garantindo assim que nenhuma área deverá ser intensificada ou expandida para que o potencial de irrigação seja adotado.

Em termos práticos, a adoção dessa premissa limita a abrangência deste estudo apenas às regiões com o uso da terra já consolidado em áreas de agricultura (A) e de pastagem (P), que juntas representam cerca de 31% do território nacional (Figura 1).

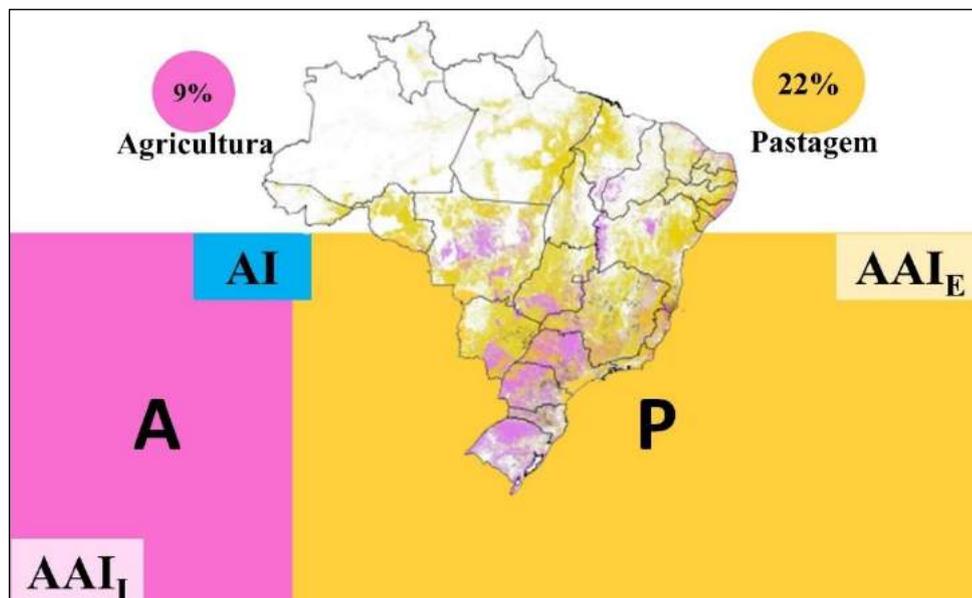


Figura 1. Representação esquemática das áreas de uso consolidado com agricultura (A), área atualmente irrigada (AI), área adicional irrigável em caráter de intensificação (AAI_I), área adicional irrigável em caráter de expansão (AAI_E) e pastagem (P) adotadas para modelagem.

Entre as áreas de agricultura consolidada, existem localidades já irrigadas atualmente (AI) e localidades com potencial físico para que haja a intensificação das práticas de cultivo por meio da irrigação, chamadas de áreas adicionais irrigáveis em caráter de intensificação (AAI_I). As áreas de pastagem (P) consolidadas são compostas por áreas sujeitas e não sujeitas à adoção de irrigação. As sujeitas à adoção de irrigação (por apresentarem potencial físico), foram chamadas de áreas adicionais irrigáveis em caráter de expansão (AAI_E). No âmbito deste estudo, as áreas AAI_I foram tratadas com maior prioridade e áreas AAI_E tratadas com prioridade secundária.

12.2.3 Variável territorial

O elemento comum a todas as variáveis envolvidas no processamento é a dimensão espacial explícita, ou seja, a territorialidade. Neste estudo, adotou-se como unidade básica de processamento as microbacias da Agência Nacional de Águas (ANA), o que resultou para o

Brasil em um número de 404.023 polígonos de processamento com área média de 2.015 hectares, mediana de 980 hectares e área máxima de 675.708 hectares. Nos casos em que uma microbacia pertencia a dois ou mais municípios, considerou-se o vínculo em relação àquele com maior área relativa da microbacia. Para as variáveis de meio físico, cuja resolução espacial era mais detalhada que o polígono da microbacia (elementos do clima, atributos de solos e relevo), adotou-se o valor médio da variável.

Nas seções subsequentes será sintetizada cada uma das variáveis utilizadas no modelo territorial de irrigação. Para tanto, apresentam-se as variáveis finais e de forma oportuna são apontadas as variáveis intermediárias e procedimentos de cálculo, bem como a fonte das informações.

12.2.3.1 Uso e cobertura da terra

Para a composição do mapa atual do uso da terra no Brasil, foi realizada uma compilação de mapas de uso e cobertura do solo já existentes para o território brasileiro. As informações foram provenientes de bases de dados diversas (MapBiomas, Conab, ANA, entre outras), de modo que se prezou pelo uso de bases de dados acuradas, amparadas por publicações científicas e atuais para cada região do país.

Além do mapa de uso da terra processados para este estudo (Figura 2), foram também consolidadas as áreas protegidas do território envolvendo as unidades de conservação de proteção integral, as áreas militares, terras indígenas e territórios remanescentes de quilombos.

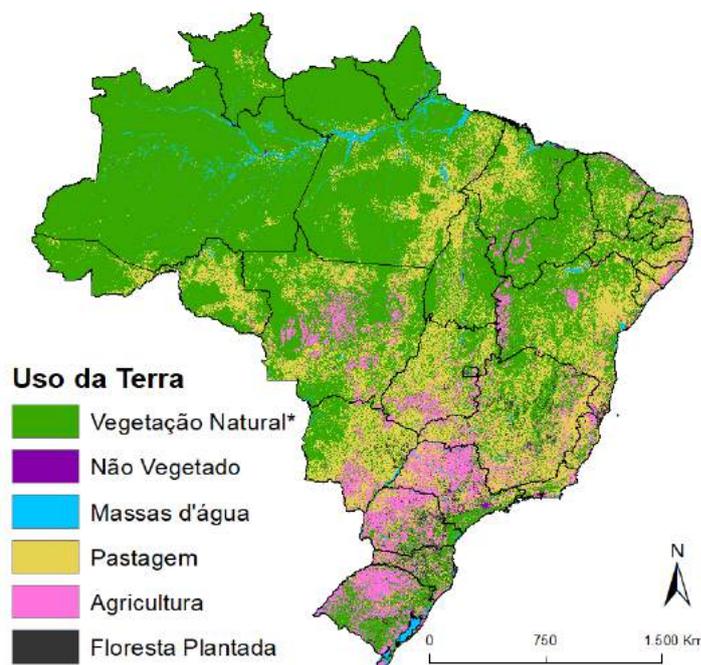


Figura 2. Mapa de uso da terra no Brasil em 2021.

A descrição metodológica detalhada, bem como a fonte de dados utilizada para o processamento deste dado pode ser encontrada no documento público do estudo 'Plano de ação imediata da agricultura irrigada no Brasil para o período 2020-2023' (GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2020).

12.2.3.2 Aptidão agrícola do meio físico

O modelo de aptidão, desenvolvido originalmente por Barretto (2013), avalia as características do meio físico para estabelecimento de culturas anuais em sistemas mecanizados, considerando as dimensões solo, relevo e clima. O resultado do processamento é um modelo de aptidão agrícola em formato matricial (*raster*) com resolução espacial de 30x30 metros abrangendo todo o território brasileiro, que se traduz em um índice variando de 0 (muito baixa aptidão do meio físico) a 1 (muito alta aptidão) (Figura 3). A descrição das bases de dados utilizadas e a metodologia empregada em cada uma das dimensões (solos, relevo e clima), bem como o procedimento de integração das informações podem ser encontradas no documento público do estudo (GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2020).

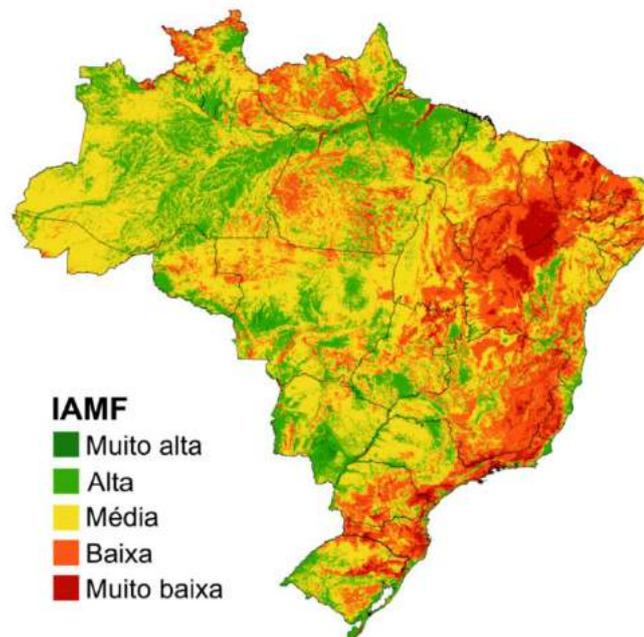


Figura 3. Índice de aptidão do meio físico para culturas agrícolas (IAMF) representado em *quantis*: muito baixo ($IAMF \leq 0,2$), baixo ($0,2 < IAMF \leq 0,4$), médio ($0,4 < IAMF \leq 0,6$), alto ($0,6 < IAMF \leq 0,8$) e muito alto ($IAMF > 0,8$).

12.2.3.3 Variável territorial de irrigação

A metodologia de tratamento de dados para obtenção de uma informação territorial suficientemente robusta e de abrangência nacional em relação aos recursos disponíveis e demandados no espaço rural para estimação das áreas adicionais irrigáveis com água superficial, de intensificação ou expansão, foi constituída por três eixos de processamento: (Eixo 1) área agricultável, (Eixo 2) demanda hídrica e (Eixo 3) disponibilidade hídrica (Figura 4).



Figura 4. Representação esquemática dos três eixos que compõem a variável territorial de irrigação (AAI: área adicional irrigável).

A partir dos resultados provenientes dos três eixos, foi então calculada a área adicional irrigável no Brasil, ou seja, áreas com disponibilidade hídrica para adoção da irrigação e que ainda não são irrigadas atualmente. Além disso, vale ressaltar que o estudo procura estimar a área adicional irrigável a partir da água superficial disponível, distinguindo as áreas com potencial de intensificação de agricultura de sequeiro por intermédio da irrigação e as áreas com potencial de expansão da agricultura irrigada sobre pastagens consolidadas. Primeiramente, são obtidos os resultados de áreas adicionais irrigáveis de intensificação e de maneira consecutiva as áreas com potencial de expansão. Essa análise se tornou possível a partir dos resultados do componente de área agricultável.

12.2.3.3.1 Primeiro eixo: área agricultável de uso consolidado

O objetivo do primeiro eixo foi gerar um mapa de área agricultável, isto é, áreas de uso de agricultura e pastagem no território brasileiro. Para isso, aplicam-se filtros para a remoção de áreas com restrições físicas e ambientais sobre o mapa de áreas consolidadas atuais de agricultura e pastagem. Essa análise foi considerada como um primeiro eixo na composição da variável territorial de irrigação porque permite contabilizar as áreas que reúnem as condições físicas para adoção da agricultura e que poderiam ser potencialmente irrigadas, caso haja disponibilidade hídrica. Isso implica dizer que, em um momento posterior, é possível mensurar o quanto de fato apenas a disponibilidade hídrica passa a ser um fator limitante para adoção de sistemas irrigados em cada microbacia. Para a geração da área agricultável, três informações espaciais distintas foram combinadas: o uso da terra, o índice de aptidão para solo e relevo (IASR) e as áreas de preservação permanente (APP) (Figura 5).



Figura 5. Dados utilizados para gerar a variável Área Agricultável: índice de aptidão para solo e relevo (IASR), uso da terra e áreas de preservação permanente (APP).

A partir do mapa de uso e cobertura da terra, as classes de agricultura e de pastagem foram separadas. Na sequência, informações do ambiente físico foram utilizadas para remover os locais que são inaptos para a intensificação e expansão da agricultura irrigada tanto em áreas agrícolas como em áreas de pastagem. Nessa etapa, regiões com altitude acima de 1.800 metros, as quais são consideradas áreas de preservação permanente (APP) pelo novo Código Florestal (Lei 12.651/2012), e locais com declividade acima de 25°, os quais são consideradas áreas de uso restrito pela referida lei, foram removidas na contabilização da área agricultável. Na etapa seguinte, a aptidão agrícola do meio físico foi utilizada, considerando os componentes solo e relevo para identificação de áreas prioritárias à intensificação e expansão da área irrigada, ou seja, descontando áreas com baixa aptidão de solo-relevo.

Por fim, as áreas de preservação permanente (APP), estando elas atualmente com cobertura vegetal nativa ou não, bem como áreas destinadas a unidades de conservação (UC) de proteção integral, terras indígenas e quilombolas também foram descontadas (retiradas da análise), sendo gerado o mapa final de área agricultável de agricultura e de pastagem (Figura 6).

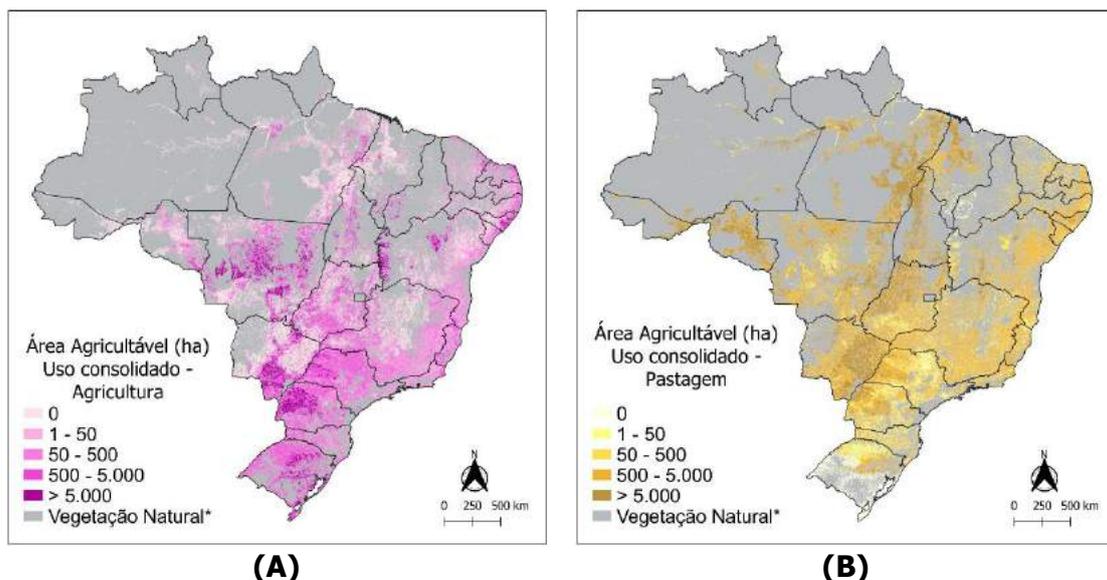


Figura 6. Área agricultável com agricultura de sequeiro (A) e com pastagem (B).

12.2.3.3.2 Segundo eixo: demanda hídrica

O objetivo deste eixo foi gerar uma estimativa da demanda hídrica no interior de cada microbacia. A estimativa envolveu um conjunto de processamentos complexos, desde a simulação do balanço hídrico de quatro diferentes culturas (milho, feijão, arroz e cana-de-açúcar) até a estimativa da vazão unitária de projeto. Esse componente, portanto, refere-se aos aspectos físicos da irrigação e foram tratados, para todo o território, na escala de microbacias (Ottobacias 5k).

Em linhas gerais, a quantidade de água necessária foi estimada após a análise do balanço hídrico climatológico (BHC) e do índice de satisfação à necessidade de água (ISNA) (Figura 7). Essas análises serviram de base para indicar o período do ano mais apropriado para estimar a demanda hídrica de referência, que por sua vez, deve ser convertida em vazão unitária de projeto ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$) (Q_u), ou seja, a vazão necessária em um projeto de irrigação para suprir a demanda sob as condições climáticas de cada recorte geográfico. Esta vazão foi calculada a partir da extrapolação da demanda hídrica da cultura, dada em mm dia^{-1} (Evapotranspiração potencial da cultura de interesse - ETC).



Figura 7. Síntese dos procedimentos para estimativa da demanda hídrica (ISNA: Índice de Satisfação à Necessidade de Água).

12.2.3.3.3 Terceiro eixo: disponibilidade hídrica e cálculo da área adicional irrigável de intensificação e expansão

O terceiro eixo se refere à disponibilidade hídrica, um dos dados de entrada das simulações que apresenta a quantidade de água superficial disponível à agricultura irrigada. O principal resultado a ser alcançado diz respeito à quantidade de água remanescente disponível em cada microbacia, ou seja, representa, segundo a ANA, uma condição de oferta bruta de água (isenta de captações) sobre a qual foi realizado o cômputo das diferentes demandas existentes, a fim de definir em qualquer tempo, a quantidade de água que ainda poderia ser alocada a outros usuários ou a quantidade de recursos hídricos que podem estar comprometida ou no seu limite de uso. Como dados de entrada deste estudo, a ANA forneceu a disponibilidade da vazão de referência com 95% de garantia (Q_{95}) obtida de séries de vazões diárias observadas em estações fluviométricas ou séries de vazões modeladas em locais específicos.

De forma sintética, para estimar a água remanescente disponível para irrigação, a disponibilidade bruta deve ser descontada dos usos consuntivos. Os usos consuntivos da água para cada microbacia estão divididos em: uso humano urbano, uso humano rural, indústria de

transformação, mineração, geração termoelétrica, dessedentação animal e agricultura irrigada.

Nesse sentido, a solução adotada para contemplar com segurança os usos consuntivos no modelo foi assumir como demanda hídrica total a soma de todos os usos consuntivos projetados para o ano de 2030 (ano r de referência), exceto irrigação, e para esta última, foi considerado o valor atual, segundo a fórmula a seguir:

$$UCT_s = D_{hu,r,s} + D_{hr,r,s} + D_{it,r,s} + D_{m,r,s} + D_{gt,r,s} + D_{da,r,s} + D_{ai,2020,s} \quad (1)$$

em que UCT_s representa a vazão de retirada total na microbacia s ; $D_{hu,r,s}$ a vazão de retirada para os usos humanos urbanos estimada para o ano de referência r (2030) na microbacia s ; $D_{hr,r,s}$ a vazão de retirada para os usos humanos rurais estimada para o ano r na microbacia s ; $D_{it,r,s}$ a vazão de retirada para indústria de transformação estimada para o ano r na microbacia s ; $D_{m,r,s}$ a vazão de retirada para a mineração estimada para o ano r na microbacia s ; $D_{gt,r,s}$ a vazão de retirada para a geração termoelétrica estimada para o ano r na microbacia s ; $D_{da,r,s}$ a vazão de retirada para dessedentação animal estimada para o ano r na microbacia s ; e $D_{ai,2020,s}$ a vazão de retirada para a irrigação em 2020 na microbacia s .

Uma vez definida a vazão de retirada para os usos consuntivos, a vazão remanescente foi calculada, após o desconto destes usos em relação à disponibilidade bruta. Para isso, com a contribuição da ANA, que disponibilizou uma ferramenta hidrológica para esse tipo de cálculo, foi possível realizar a simulação. Essa ferramenta é usada para cálculo de demanda hídrica acumulada e leva em consideração a rede de fluxos. Com sua aplicação, o *output* gerado é o nível de comprometimento (NC_s) hídrico para cada s -ésima microbacia do território. A partir do nível de comprometimento estima-se a disponibilidade hídrica remanescente (Equação 2).

$$Disp_{r,s} = Disp_{t,s} \cdot (100 - NC_s) \quad (2)$$

em que s representa uma microbacia hipotética; $Disp_{r,s}$ a disponibilidade remanescente na microbacia s ; $Disp_{t,s}$ a disponibilidade total na microbacia s ; e NC_s o nível de comprometimento da bacia hidrográfica s . Caso o NC_s seja maior que 100%, significa que essa microbacia já está com um balanço hídrico negativo.

12.2.3.3.4 Procedimentos para cálculo da área adicional irrigável com água superficial

A definição da área adicional irrigável com água superficial é a última etapa e é obtida a partir da diferença entre a disponibilidade hídrica remanescente e a demanda hídrica total para a microbacia, considerando a intensificação ou expansão da agricultura irrigada.

Nesse sentido, aplica-se a mesma lógica de desconto de demanda hídrica a partir da disponibilidade efetiva, já realizado no item anterior para estimar a disponibilidade hídrica remanescente. Nesse caso, diferentemente do passo anterior, a disponibilidade hídrica total de entrada no modelo será a disponibilidade remanescente, já descontada dos usos consuntivos. Para a demanda hídrica, o valor é obtido conforme a metodologia já descrita, para ambas as análises propostas (áreas de intensificação e expansão).

É importante ressaltar que a ferramenta disponibilizada pela ANA apresenta como *output* o nível de comprometimento dos recursos hídricos da microbacia após a simulação descrita, em que a demanda hídrica considerada foi composta pela área agrícola ou de pastagem da microbacia e pela vazão unitária de projeto média. Com isso, configura-se o cenário de alta demanda hídrica, pois a área considerada é a máxima possível. Nesse caso, em diversas situações, o nível de comprometimento dos recursos hídricos é superior a 100%, ou seja, a

disponibilidade hídrica total é excedida e, portanto, a área passível de ser irrigada é menor que a área usada para estimar tal demanda hídrica.

Para resgatar a área máxima passível de ser irrigada a partir dos níveis de comprometimento, é preciso fazer uma análise linear inversa dos resultados, de modo que, para estimar esta área na microbacia hipotética s , temos:

$$Ax_s = \frac{100}{NC_s} \cdot A_s, \text{ se } NC_s \geq 100\% \quad (3)$$

$$Ax_s = A_s, \text{ se } NC_s < 100\% \quad (4)$$

em que Ax_s representa a área máxima passível de ser irrigada na microbacia s ; A_s a área usada para estimar a demanda hídrica na microbacia s ; e NC_s o nível de comprometimento *output* da ferramenta na microbacia s .

12.3 Resultados

A área adicional irrigável, representa as áreas com disponibilidade hídrica para adoção da irrigação, já descontadas as áreas irrigadas atualmente. Os resultados apresentados distinguem as com potencial de intensificação de agricultura de sequeiro por intermédio da irrigação e as áreas com potencial de expansão da agricultura irrigada sobre pastagens consolidadas, considerando a disponibilidade hídrica superficial no território.

12.3.1 Área adicional irrigável

A área adicional irrigável com água superficial no Brasil soma um total de 53,41 Mha, dos quais 26,69 Mha (49,97%) se encontram em áreas de intensificação - ou seja, consolidadas com agricultura de sequeiro e que podem ser intensificadas por meio da irrigação; e 26,72 Mha (50,03%) situam-se em áreas de expansão - ou seja, consolidadas com pastagem e que podem ser convertidas para agricultura irrigada. Uma representação espacial dos resultados de área adicional irrigável de intensificação, de expansão e o total são apresentados pelas Figuras 8, 9 e 10.

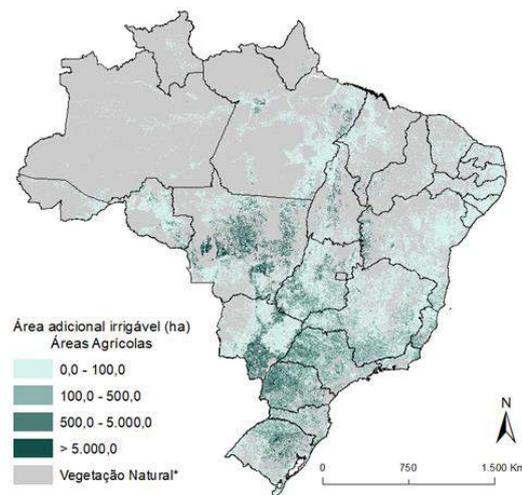


Figura 8. Distribuição espacial da área adicional irrigável de intensificação (em áreas agrícolas).

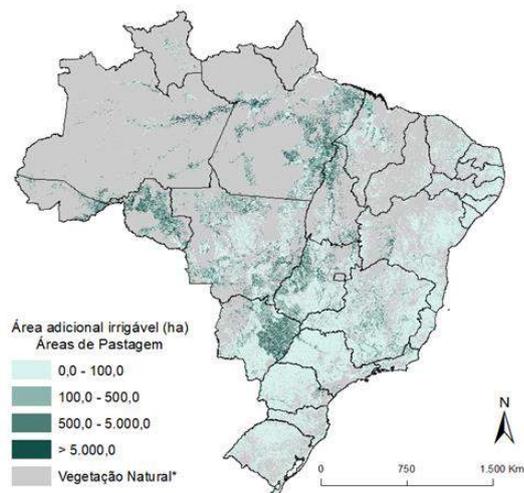


Figura 9. Distribuição espacial da área adicional irrigável de expansão (em áreas de pastagem).

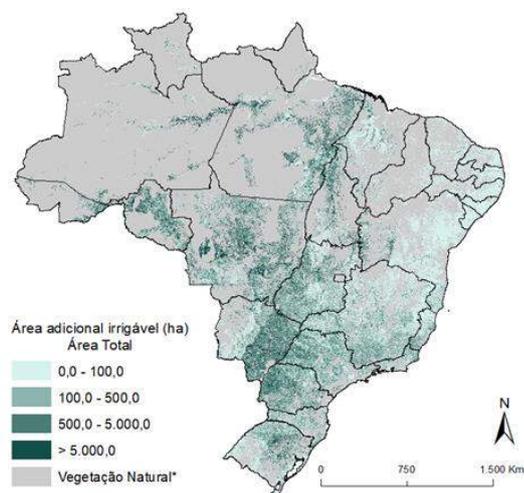


Figura 10. Distribuição espacial da área adicional irrigável total (área adicional irrigável de intensificação e de expansão).

A região Centro-Oeste apresenta a maior quantidade de áreas adicionais irrigáveis no Brasil, com mais de 18,7 Mha, o que representa mais de 35% de toda área adicional irrigável no país. Desse total, 8,93 Mha são áreas adicionais irrigáveis de intensificação e 9,8 Mha de expansão. A segunda região com maior área adicional irrigável é a Sudeste, com cerca de 12,3 Mha (23% do Brasil), dos quais 8,1 Mha são áreas adicionais de intensificação e 4,1 Mha de expansão. Na sequência está a região Norte com aproximadamente 11,0 Mha de área adicional irrigável, onde pouco menos de 0,8 Mha estão destinados à área adicional irrigável de intensificação, enquanto mais de 10 Mha são de expansão. A seguir vem a região Sul, com cerca de 8,2 Mha de área adicional irrigável, distribuídos entre intensificação (7,7 Mha) e expansão (540 mil hectares). A região Nordeste apresenta a menor área adicional irrigável no Brasil, com aproximadamente 3,3 Mha, sendo que pouco mais de 1,0 Mha de hectares são áreas adicionais de intensificação e 2,1 Mha de expansão (Tabela 1).

Tabela 1. Valores, em hectares, da área adicional irrigável de intensificação (AAI_I), expansão (AAI_E) e total (AAI_T) no Brasil.

Região Estado	AAI _I		AAI _E		AAI _T	
	hectares	%	hectares	%	hectares	%
CENTRO-OESTE	8.929.098	33,4	9.824.196	36,8	18.753.294	35,1
Distrito Federal	30.182	0,3	19.459	0,2	49.642	0,3
Goiás	1.987.706	22,3	2.396.858	24,4	4.384.564	23,4
Mato Grosso	5.241.426	58,7	4.540.914	46,2	9.782.340	52,2
Mato Grosso do Sul	1.669.784	18,7	2.866.965	29,2	4.536.749	24,2
NORDESTE	1.112.048	4,2	2.103.595	8,0	3.215.642	6,0
Alagoas	22.464	2,0	21.078	1,0	43.542	1,4
Bahia	632.807	56,9	878.644	41,8	1.511.452	47
Ceará	77.647	7,0	91.981	4,4	169.628	5,3
Maranhão	196.728	17,7	944.334	44,9	1.141.062	35,5
Paraíba	12.878	1,2	23.194	1,1	36.072	1,1
Pernambuco	31.546	2,8	63.448	3,0	94.993	3,0
Piauí	97.215	8,7	51.950	2,5	149.165	4,6
Rio Grande do Norte	31.585	2,8	12.979	0,6	44.565	1,4
Sergipe	9.176	0,8	15.987	0,8	25.163	0,8
NORTE	797.008	3,0	10.142.443	38,0	10.939.451	20,5
Acre	0	0,0	691.268	6,8	691.268	6,3
Amapá	25.878	3,2	69.702	0,7	95.580	0,9
Amazonas	6.888	0,9	1.419.720	14,0	1.426.608	13,0
Pará	230.040	28,9	4.266.673	42,1	4.496.713	41,1
Rondônia	158.572	19,9	2.239.966	22,1	2.398.538	21,9
Roraima	14.148	1,8	207.439	2,0	221.587	2,0
Tocantins	361.482	45,4	1.247.675	12,3	1.609.157	14,7
SUDESTE	8.150.081	30,5	4.115.525	15,0	12.265.606	23,0
Espírito Santo	328.636	4,0	39.648	1,0	368.284	3,0
Minas Gerais	3.406.952	41,8	3.241.218	78,8	6.648.170	54,2
Rio de Janeiro	326.045	4,0	264.836	6,4	590.881	4,8
São Paulo	4.088.447	50,2	569.824	13,8	4.658.271	38,0
SUL	7.706.132	28,9	540.271	2,0	8.246.403	15,4
Paraná	3.587.194	46,5	275.333	51,0	3.862.527	46,8
Rio Grande do Sul	2.904.006	37,7	41.958	7,8	2.945.964	35,7
Santa Catarina	1.214.932	15,8	222.980	41,3	1.437.913	17,4
BRASIL	26.694.367	100,0	26.726.030	100,0	53.420.396	100,0

12.3.2 Área irrigável total

A área adicional irrigável (AAI) total é obtida por meio da soma da área adicional irrigável para áreas de intensificação e de expansão, enquanto a área irrigável total no Brasil advém da soma entre AAI e a área atual de agricultura irrigada, segundo os dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021). A partir da área irrigada atual e da área adicional irrigável total, observa-se que o território brasileiro possui mais de 59 Mha de área irrigável, considerando os 53,4 Mha de área adicional irrigável e 5,6 Mha de área atualmente irrigadas (Figura 11).

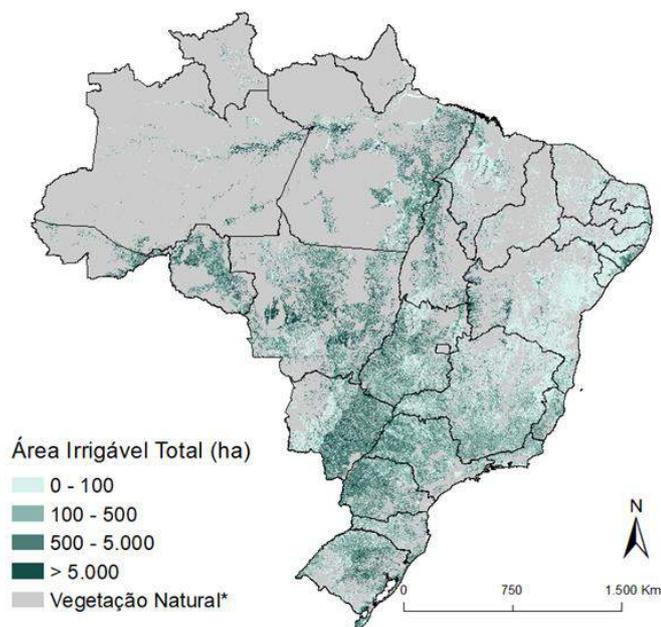


Figura 11. Distribuição espacial da área irrigável total com base na área adicional irrigável total e área irrigada atual.

A região Centro-Oeste apresenta a maior quantidade de área irrigável no Brasil, com mais de 19,6 Mha o que representa 33% de toda área irrigável no país. A segunda região com maior área irrigável é a Sudeste com pouco mais de 14,0 Mha (23,8% do Brasil). Na sequência está a região Norte com mais de 11,2 Mha de área irrigável, representando 18,9% da área irrigável brasileira. Seguido da região Sul com 9,7 Mha, ou cerca de 16% da área irrigável do Brasil. Por fim, a região com menor área irrigável é a Nordeste com aproximadamente 4,5 Mha, expressando 7,5% da área irrigável do país (Tabela 2).

Os pressupostos adotados pelo modelo priorizam a alocação de recursos hídricos primeiro em áreas já consolidadas de agricultura e só depois na expansão sobre pastagens. Isso aproxima os resultados das dinâmicas reais de uso da terra e da forma de tomada de decisão dos agentes econômicos, configurando uma geografia de resultados aderente a realidade com mais de 90% do potencial de intensificação alocados no Centro-Sul enquanto quase 40% do potencial de expansão está na Região Norte.

O estudo estima um potencial físico de quase decuplicar a área de agricultura irrigada no país contando apenas com água superficial. Diante disso, há dois pontos que valem ser ressaltados. Em primeiro lugar, o componente físico é apenas um dos vários fatores que efetivamente indicam onde é possível chegar e quanto é possível desenvolver a agricultura irrigada. A consolidação de agricultura irrigada depende também de variáveis de infraestrutura, disponibilidade de recursos econômicos, pessoal qualificado, equipamentos, mercado, governança fundiária, segurança, outorga de uso da água, gestão e monitoramento. Em segundo lugar, o potencial estimado apesar de aparentemente alto, corresponde a apenas 6% do território nacional, incorrendo em risco de comprometimento hídrico para outros usos caso se extrapole esses limites em termos agregados e, mais importante, caso se extrapolem os limites calculados localmente.

As restrições ambientais à expansão da área agropecuária no Brasil e no mundo, colocam a irrigação como fronteira agrícola viável e sustentável, entretanto, o potencial brasileiro de 50 Mha de hectares estimados correspondem a pouco mais de 3% da área mundial de 1,5 bilhões de hectares cultivada com culturas agrícolas segundo estimativas da FAO. A principal conclusão é que o teto para aumento de produção agrícola não está distante

do que atualmente se explora, impondo urgência no planejamento e gestão estratégica dos últimos recursos disponíveis.

Tabela 2. Valores, em hectares, da área adicional irrigável utilizando água superficial (AAIs), área irrigada atual (AI) e área irrigável total (AI_T) no Brasil.

Região Estado	AAIs		AI		AI _T	
	hectares	hectares	%	hectares	%	
CENTRO-OESTE	18.753.294	878.169	15,60%	19.631.463	33,24%	
Distrito Federal	49.642	22.059	2,50%	71.701	0,37%	
Goiás	4.384.564	511.676	58,30%	4.896.240	24,94%	
Mato Grosso	9.782.340	253.298	28,80%	10.035.638	51,12%	
Mato Grosso Do Sul	4.536.749	91.136	10,40%	4.627.885	23,57%	
NORDESTE	3.215.642	1.268.870	22,50%	4.484.512	7,59%	
Alagoas	43.542	192.074	15,10%	235.616	5,25%	
Bahia	1.511.452	525.439	41,40%	2.036.891	45,42%	
Ceará	169.628	60.529	4,80%	230.157	5,13%	
Maranhão	1.141.062	89.174	7,00%	1.230.236	27,43%	
Paraíba	36.072	84.604	6,70%	120.676	2,69%	
Pernambuco	94.993	169.068	13,30%	264.061	5,89%	
Piauí	149.165	47.304	3,70%	196.469	4,38%	
Rio Grande do Norte	44.565	52.488	4,10%	97.053	2,16%	
Sergipe	25.163	48.191	3,80%	73.354	1,64%	
NORTE	10.939.451	227.539	4,00%	11.166.990	18,91%	
Acre	691.268	1.367	0,60%	692.635	6,20%	
Amapá	95.580	2.103	0,90%	97.683	0,87%	
Amazonas	1.426.608	5.100	2,20%	1.431.708	12,82%	
Pará	4.496.713	24.001	10,50%	4.520.714	40,48%	
Rondônia	2.398.538	15.957	7,00%	2.414.495	21,62%	
Roraima	221.587	3.831	1,70%	225.418	2,02%	
Tocantins	1.609.157	175.179	77,00%	1.784.336	15,98%	
SUDESTE	12.265.606	1.813.296	32,10%	14.078.902	23,84%	
Espírito Santo	368.284	248.713	13,70%	616.997	4,38%	
Minas Gerais	6.648.170	961.455	53,00%	7.609.625	54,05%	
Rio de Janeiro	590.881	52.665	2,90%	643.546	4,57%	
São Paulo	4.658.271	550.463	30,40%	5.208.734	37,00%	
SUL	8.246.403	1.457.578	25,80%	9.703.981	16,43%	
Paraná	3.862.527	97.238	6,70%	3.959.765	40,81%	
Rio Grande do Sul	2.945.964	1.163.251	79,80%	4.109.215	42,35%	
Santa Catarina	1.437.913	197.089	13,50%	1.635.002	16,85%	
BRASIL	53.420.396	5.645.452	100,00%	59.065.848	100,00%	

12.4 Considerações finais

O presente estudo apresentou os resultados para o cômputo da área adicional irrigável no Brasil, que por sua vez representa os locais com disponibilidade hídrica superficial para adoção da irrigação, distinguindo os com potencial de intensificação de agricultura de sequeiro através da irrigação (áreas de intensificação) e as áreas com potencial de ampliação da agricultura irrigada sobre pastagens consolidadas (áreas de expansão).

Os resultados obtidos apontam um potencial de intensificação de, aproximadamente, 26,69 Mha de áreas agrícolas por meio da irrigação no Brasil. Por outro lado, há também um potencial de adotar irrigação em uma área de mais 26,72 Mha, atualmente cobertas por pastagens – as quais podem ser, eventualmente, convertidas para produção agrícola no país. Somados os dois cenários, de intensificação e expansão, são estimados aproximadamente 53,4 Mha adicionais para a irrigação em todo o território brasileiro, ou seja, uma área dez vezes superior à área atualmente irrigada (5,3 Mha, excluindo as fertirrigadas) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021). Neste contexto, como considerações deste estudo, coloca-se a seguir algumas reflexões.

A complexa conjuntura do setor agroalimentar é atualmente desafiada por uma transição, que abrange todos os setores da economia e sociedade. Convencionou-se chamar de “economia do conhecimento”, ou “quarta revolução industrial”, o conjunto de mudanças estruturais e de processos socioeconômicos experimentados na conversão de um mundo analógico em digital. O escopo das mudanças é muito mais amplo que o uso de sistemas computacionais, máquinas inteligentes e conectividade espaço-temporal.

Na economia do conhecimento são eliminados os limites entre os domínios físicos, digitais e biológicos. Exemplo simples disso na agricultura é um determinado sistema possibilitar o controle de uma operação (semeadura, irrigação, colheita, entre outros) em grande escala levando em consideração condicionantes biológicos, climáticos, pedológicos e topográficos, otimizando variáveis espaciais e temporais automaticamente. Há exemplos para todos os setores, alguns mais tangíveis e outros mais futuristas, tais como o monitoramento biométrico de populações, a biologia sintética, a mobilidade urbana autônoma, entre outros.

Não se sabe exatamente quais são os impactos no médio e longo prazo da transição atual, mas alguns efeitos negativos já são identificáveis, como a extinção de ocupações, desemprego crescente e desigualdade social sistêmica.

No setor agroalimentar, talvez o principal elemento estrutural de mudança esteja ligado à escala de produção. Em um contexto não digital, a pequena escala detém, em muitos casos, a vantagem competitiva de controle e conhecimento total do ambiente produtivo. O pequeno agricultor conhece bem a sua terra, sabe o nome e o histórico de cada animal e controla pessoalmente seus fornecedores e compradores. Tais elementos em um mundo não digital podem ser chave para aumento da produtividade e eficiência. Entretanto, na economia do conhecimento, os elementos determinantes da eficiência são o acesso a tecnologias de inovação permanente e a capacidade de processamento de dados.

Quanto maior a capacidade de coleta de dados, armazenamento e processamento, maior a eficiência. Ou seja, apesar da lógica de economia de escala ser conhecida há muito tempo, com o advento da economia do conhecimento, o funcionamento dos processos produtivos gradativamente tendem a ser viáveis apenas em estruturas muito grandes, concentradas em pouquíssimos agentes, acompanhados de uma tendência de segregação geográfica e clusterização da produção. Os benefícios para os consumidores são óbvios em um cenário de produção crescente a custos cada vez mais baixos, porém os riscos sociais e ambientais ainda não foram equacionados nem precificados.

Em síntese, a partir da entrada na economia do conhecimento, o setor agropecuário tem funcionamento semelhante aos setores industrial e de serviços, com tendência de

concentração nas cadeias de geração de valor e desenvolvimento tecnológico, acirramento das desigualdades e viabilização pela economia de escala. Porém, mesmo com as semelhanças entre o setor agroalimentar os outros setores da economia, há particularidades a serem consideradas.

Os modelos de produção agropecuária funcionam como uma linha de produção industrial invertida, ou seja, enfrentam o dilema em consumir insumos, serviços especializados e tecnologia de alto valor agregado e vender produtos primários de baixo valor agregado. Esse fundamento associado a uma inserção globalizada pressiona pelo aumento de escala, busca crescente de produtividade, redução no uso de mão-de-obra, expansão da produção em terras baratas e uma dependência crescente de insumos, genética e tecnologia proprietária de poucas empresas.

O setor agroalimentar é estratégico por estar ligado ao suprimento de alimentos e energia. A inserção absoluta desse setor em modelos de negócio altamente competitivos, dependente de fluxos globais de insumos que operam com folga muito estreita para viabilização econômica e maximização de lucro, traz consigo uma redução na resiliência a crises de ordem sanitária ou choques econômicos de oferta e demanda. Um setor estratégico e não resiliente é um risco não apenas para os países produtores, mas também para a economia global.

O setor também ocupa grandes extensões de terra e isso traz implicações tanto para as questões ambientais (água, carbono e biodiversidade), como para as questões sociais (acesso à terra, renda e pobreza). A coincidência espacial entre as agendas econômicas (produção), sociais e ambientais é talvez o maior desafio para formulação teórica e para o desenvolvimento de soluções práticas na geografia contemporânea.

Nesse contexto emerge frequentemente a estratégia da intensificação (ou verticalização) produtiva - e a irrigação a fronteira fundamental nessa equação - como uma estratégia para atacar simultaneamente a questão da escala produtiva com viabilização de módulos menores, a questão da maior agregação de valor por unidade de área, a questão da poupança de terras para preservação ambiental e a questão da redução de incertezas na produção e incremento de segurança alimentar. Dessa maneira, a intensificação seria uma forma eficiente para cumprir as agendas econômica, social e ambiental.

Evidentemente, todo esse processo é complexo e permeado de efeitos ambíguos. O argumento de que a intensificação, na medida em que resulta em maior produção por unidade de área, teria o efeito de "poupar terra" e resultar em uma série de benefícios sociais e ambientais é forte e está na base de sustentação da revolução verde e do prêmio Nobel da paz concedido a Norman Borlaug em 1970.

Sendo assim, em um cenário de demanda atual a ser satisfeito com níveis de produtividade agropecuária do início do século XX, boa parte das áreas de vegetação nativa já teriam sido devastadas para serem utilizadas na produção de alimentos ou então boa parte da população mundial estaria faminta e a economia global já teria colapsado. O mais provável é que a devastação ambiental e o colapso econômico viessem juntos. De qualquer modo, é justo afirmar que a revolução verde e a moderna agronomia evitaram um cenário catastrófico global.

Diversos estudos já mostraram que a intensificação resulta em um efeito poupa terra (STEVENSON *et al.*, 2013; COHN *et al.*, 2014; BALMFORD; GREEN; PHALAN, 2015; PHALAN *et al.*, 2016). Paradoxalmente, apesar dos dados oficiais detectarem uma tendência gradativa de intensificação na agropecuária, significando menos terra utilizada para a mesma quantidade de produção, não é possível afirmar que no Brasil isso esteja relacionado a uma diminuição da pressão para incorporação de novas terras pela agropecuária ou que haja qualquer relação causal entre a intensificação, a preservação ambiental e maior equidade social.

Segundo dados do INPE (PRODES), a taxa média de desmatamento na Amazônia Legal dos últimos 20 anos foi de aproximadamente 1 Mha ano⁻¹ e, na última década ainda atingiu 0,5 Mha ano⁻¹. Ou seja, é um fato que a incorporação de terras às áreas de agricultura e pecuária e a intensificação dessas explorações acontecem simultaneamente no Brasil. Isso não quer dizer que se deve recair na conclusão simplista (e equivocada) de que o setor produtivo é “culpado” pelo desmatamento.

O produtor que intensifica não necessariamente é aquele que desmata, e aquele que desmata não necessariamente é um produtor. Eventualmente, uma pequena parte das áreas desmatadas podem se regenerar, mas a maior parte será utilizada na agropecuária. Essa cadeia de eventos pode levar alguns anos e os agentes mudarem durante o caminho.

Nesse sentido, o fenômeno que melhor se adapta à relação da intensificação agropecuária com a expansão das terras é chamado em economia de “paradoxo de Jevon” ou *rebound effect*, isto é, o aumento da eficiência na produção por meio da intensificação torna a atividade mais atrativa e lucrativa, o que leva a uma maior expansão de área (ANGELSEN; KAIMOWITZ, 2001; BARRETTO, 2013; BARRETTO *et al.*, 2013). O argumento “intensificar para preservar” é incompleto e ainda não se pode dizer que há respaldo nos números agregados e painéis de longo prazo para o Brasil.

Os processos de intensificação produtiva que ocorreram no mundo todo a partir da segunda metade do século XX tiveram um inequívoco efeito poupa terra quando comparados a um mundo contrafactual, sem nenhuma das inovações agronômicas.

Entretanto, o efeito poupa terra é global porque a economia agroalimentar também é global. Não produzir com alta produtividade aqui no Brasil pode significar ter que produzir com baixa produtividade e usando mais terra em regiões mais sensíveis do ponto de vista ambiental e mais vulneráveis socialmente.

A intensificação produtiva experimentada no Brasil poupa terra globalmente, mas esse efeito não é necessariamente detectável dentro do País. Aqui dentro o que temos é o setor agropecuário em um processo simultâneo de expansão e intensificação. Em outras palavras, o Brasil responde não apenas a uma demanda global de produtos, mas também a uma demanda global de terra para produção.

A conclusão é que a intensificação produtiva de qualquer cadeia e com qualquer tecnologia não deve ser tratada como panaceia econômica e ambiental. Há compensações a serem considerados, riscos a serem contabilizados e, principalmente, é necessário que a estratégia e seus potenciais benefícios sejam corretamente comunicados em uma perspectiva nacional e global.

A lente crítica sobre a adoção de novas tecnologias abarcadas sob o amplo guarda-chuva da intensificação produtiva destoa do otimismo com o qual a pujança do setor agroalimentar é muitas vezes e justamente descrito. O que se tem nesse caso, entretanto, é uma falsa dicotomia porque não há atualmente e no futuro próximo nenhum conjunto de soluções para as grandes questões do setor agroalimentar global que não passem necessariamente pelo conjunto tecnológico que estará disponível ao sistema convencional de produção agrícola no Brasil.

Nesse sentido, a compreensão das compensações e das potenciais externalidades negativas da intensificação produtiva é fundamental para que eventuais danos sejam mitigados. Adicionalmente, é um fato inequívoco que a enorme abrangência espacial dos sistemas de produção convencionais torna os pequenos ganhos de sustentabilidade em grandes vantagens ambientais.

Há exemplos marcantes disso na agricultura tropical, tais como o plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio, o controle biológico de pragas, o desenvolvimento de genética

vegetal e animal adaptadas, a consolidação da segunda safra, os sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta, dentre uma longa série de tecnologias incorporadas ao *mainstream* que retornam ganhos ambientais em grande escala e que a agricultura irrigada sustentável e incluyente se coloca como a principal fronteira a ser desenvolvida no Brasil nas próximas décadas.

Entretanto, é preciso considerar que, em geral, os avanços tecnológicos dentro da lógica de produção convencional somente incorporam elementos de sustentabilidade ao processo produtivo desde que se revertam em máximo retorno econômico, o que confere enorme relevância ao papel do Estado como empreendedor de investimentos e direcionador de pesquisas que não estão sendo financiadas pelo setor privado com vistas à redução dos impactos sociais e ambientais dos sistemas produtivos convencionais.

Sendo assim, a inovação permanente se concretiza com pesquisa financiada primordialmente pelo Estado e complementarmente pela iniciativa privada, bem como a aplicação prática das tecnologias desenvolvidas só não resultará em concentração produtiva caso o Estado equilibre as imperfeições do mercado.

A definição de onde o Estado deve atuar e onde o desenvolvimento pode ser feito pelo setor privado só é possível com modelos de tomada de decisão espacialmente explícitos que consideram em sua matriz variáveis sociais e ambientais além do potencial produtivo.

O estudo aqui desenvolvido se insere nesse esforço de gerar informações sobre o potencial de utilização de agricultura irrigada no País a partir de uma modelagem quantitativa sólida, concatenada a uma ampla gama de variáveis de modo que a tomada de decisão tanto no setor público como no setor privado possa ser feita com consciência visando de forma abrangente o desenvolvimento rural.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2. Ed. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 130 p., 2021. ISBN: 978-65-88101-10-0.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. **Agricultural technologies and tropical deforestation** (CAB Intl, Wallingford, UK). 2001.
- BALMFORD, A.; GREEN, R.; PHALAN, B. Land for food and land for nature? **Daedalus**, v.144, p.57-75, 2015.
- BARRETTO, A.G.O.P. **Agricultural land-use expansion dynamics in Brazil**. 2013. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BARRETTO, A.G.O.P.; BERNDES, G.; SPAROVEK, G.; WIRSENIUS, S. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975-2006 period. **Global Change Biology**, v.19, n.6, p.1804-1815, 2013.
- BRASIL. Lei 12.651 de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.1, 28 mai. 2012.
- COHN, A.S.; MOSNIER, A.; HAVLÍK, P.; VALIN, H.; HERRERO, M.; SCHMID, E.; O'HARE, M.; OBERSTEINER, M. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.111, n.20, p.7236-7241, 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Information system on water and agriculture** - Aquastat. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acesso em: 18 jun. 2020.

GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Projeto de Cooperação Técnica IICA/BRA/08/002. **Análise territorial para o desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil**. Ministério da Integração (MI). Relatório Técnico, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (Fealq), GPP, 2015.

GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Projeto de Cooperação Técnica IICA/BRA/02/015. **Promoção da gestão integrada e no uso sustentável dos recursos hídricos no meio rural**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Relatório Técnico, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (Fealq), GPP, 2017.

GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Projeto de Cooperação Técnica UTF/BRA/087/BRA - **Promoção de Políticas Públicas de Desenvolvimento Regional**. Plano de ação imediata da agricultura irrigada no Brasil para o período 2020-2023. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Relatório Técnico, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (Fealq), GPP, 2020.

PHALAN, B.; GREEN, R.E.; DICKS, L.V.; DOTTA, G.; FENIUUK, C.; LAMB, A.; STRASSBURG, B.B.N.; WILLIAMS, D.R.; ERMGASSEN, E.K.Z.; BALMFORD, A. How can higher-yield farming help to spare nature? **Science**, v.351, p.450-451, 2016.

STEVENSON, J.R.; VILLORIA, N.; BYERLEE, D.; KELLEY, T.; MAREDIAD, M. GREEN revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.110, p.8363-8368, 2013.

CAPÍTULO 13

13 ANÁLISE TERRITORIAL PARA O FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA: APLICAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS

Rodrigo Fernando Maule, Durval Dourado Neto, Klaus Reichardt, Marcela Almeida de Araujo, Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto, Pedro Alves Quilici Coutinho e Simone Beatriz Lima Ranieri

Resumo

Muitas projeções apontam que o mundo terá que ampliar significativamente sua produção de alimentos para atender a crescente demanda e o Brasil é colocado como um dos principais atores globais nessa dinâmica. A irrigação da agricultura no Brasil é uma estratégia a ser desenvolvida para dar o salto de produtividade necessária para atender essa demanda. Políticas públicas direcionadas para esse fim são essenciais para que isso possa ocorrer dentro de um cenário planejado e controlado. Nesse sentido foram desenvolvidas modelos espacialmente explícitos, no trabalho “Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas” (MAULE, 2020), para fornecer informações úteis para orientar a tomada de decisão de gestores públicos quanto ao desenvolvimento de políticas para promover a agricultura irrigada. Nesse sentido é necessário que o aperfeiçoamento de infraestrutura por meio de suas políticas públicas específicas esteja alinhado às políticas públicas de promoção da agricultura irrigada visando atingir metas de desenvolvimento rural sustentável no curto, médio e longo prazos.

13.1 Introdução

A oferta de alimentos no mundo não tem acompanhado a demanda que resulta do crescimento da população e também do aumento do seu poder de compra. Na última década houve uma redução significativa (cerca de 50%) do estoque global de alimentos, o que é preocupante sob o ponto de vista da segurança alimentar. Muitas projeções apontam que até 2050 o mundo terá que ampliar significativamente sua produção de alimentos para atender a crescente demanda decorrente, em parte, do rápido processo de urbanização de nações muito populosas, como China e Índia (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2018; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2019). A renda per capita média também tem evoluído nos países desenvolvidos e emergentes, o que pressiona para cima o crescimento do consumo no mundo. Aliado a esse cenário, diversos estudos apontam um estoque mundial de áreas para ampliação da produção bastante reduzida, sendo que a elevação da produção de alimentos deverá ser pautada pelo aumento da produtividade (TILMAN *et al.*, 2011; VAN ITTERSUM *et al.*, 2013; MARIN *et al.*, 2016).

Diversas variáveis podem influenciar o aumento da produtividade nas áreas de produção: utilização de mais insumos (fertilizantes, corretivos, entre outros), espécies vegetais mais adaptadas (melhoramento genético) e alteração de manejo (produção em ambiente mais controlado). Nesse contexto, a produção em áreas irrigadas passa a ter um papel importante, pois permite a intensificação da produção minimizando a pressão por expansão de área (SAATH; FACHINELLO, 2018). Também cabe destacar que o uso de irrigação permite a ocupação de áreas que apresentam restrições de uso agrícola por falta de chuvas. De acordo com Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017), a produtividade de culturas irrigadas é de 2 a 3 vezes maior em relação à agricultura de sequeiro. Em termos econômicos, o ganho com a irrigação é ainda mais expressivo. A produtividade econômica decorrente da

venda dos produtos irrigados é cerca de cinco vezes maior daquele obtida com os produtos da agricultura tradicional.

O Brasil está entre os dez países com a maior área irrigada do mundo, segundo dados da Food and Agriculture Organization (2017). Os líderes mundiais são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017). Entretanto, a irrigação no Brasil é considerada pequena frente ao potencial estimado (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

Assim, a ampliação da agricultura irrigada no Brasil pode contribuir em muito para o aumento de produtividade, entretanto o estímulo dessa prática via políticas públicas deve ser pautado por um planejamento sólido que congregue diversos elementos produtivos, ambientais, sociais e econômicos, permitindo não só aumento da produtividade, como também o desenvolvimento territorial sustentável e gerador de renda para todas as parcelas de agricultores.

A abordagem da análise territorial para a configuração de cenários de expansão da agricultura irrigada para fins de planejamento e gestão pode possibilitar uma maior focalização de questões imprescindíveis ao desenvolvimento rural sustentável, sendo possível aplicar em políticas públicas elementos fundamentais para a tomada de decisão de gestores. A busca por desenvolver uma abordagem de análise territorial alicerçada na modelagem espacial como instrumento de planejamento estratégico para estimular a expansão da agricultura irrigada pode possibilitar: (i) avançar na visão da espacialização das políticas públicas voltadas à agricultura irrigada, identificando seus impactos e resultados nos territórios; (ii) visualizar de forma clara as configurações estabelecidas, considerando as principais variáveis de interesse para o meio rural de modo integrado; (iii) oferecer os elementos para o direcionamento dos instrumentos e políticas disponíveis, visando a ampliação da capacidade de dinamização econômica da agricultura e dos territórios de modo geral; e (iv) qualificar as ações voltadas para o desenvolvimento de uma agricultura irrigada de base limpa e sustentável.

Recentemente foi elaborado o estudo "Análise Territorial e Políticas para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil" (SPAROVEK *et al.*, 2014) que trabalhou a sistematização, o tratamento e a análise integrada de dados essenciais para o planejamento da agricultura irrigada no Brasil. Esse estudo visou suprir as necessidades de um modelo de análise territorial espacialmente explícito, capaz de oferecer elementos para a avaliação do território, com base em variáveis que configuram a realidade e a aderência das políticas executadas pelo então Ministério da Integração Nacional (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008; 2014), atual Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

O estudo apresentou um arranjo lógico e uma combinação de variáveis para o processo de desenvolvimento da agricultura irrigada. A modelagem utilizada ofereceu uma visão espacial das necessidades de irrigação, das oportunidades de ações, das possibilidades de modernização e eficiência do uso da terra no Brasil e da aplicação das demais políticas de fortalecimento da agricultura irrigada, visando o desenvolvimento rural sustentável. Deve-se mencionar que este estudo foi utilizado como uma referência para a elaboração do "Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada", da Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

A dinâmica de processamento e geração de resultados que a ciência de dados atual pode proporcionar a partir das evoluções recentes, principalmente na área computacional, é fator essencial para o aprimoramento das análises territoriais voltadas para apoiar o fortalecimento da agricultura irrigada, visto que estas análises envolvem grande quantidade de componentes e escalas de trabalho, trazendo complexidade para a representação da realidade. Como exemplo de aplicação prática proporcionada pela ciência de dados neste campo está a agregação de indicadores de disponibilidade e qualidade de energia elétrica no

meio rural, que auxilia na avaliação e representação de áreas com potencial de expansão da irrigação, conforme estudo de Assunção (2018).

O presente trabalho teve por objetivo geral demonstrar o potencial da ciência de dados na orientação de políticas públicas voltadas à agricultura irrigada utilizando ferramentas de análise territorial multicriterial. A metodologia desenvolvida é baseada na combinação de variáveis que buscam explicitar representações simplificadas e agregadas de diferentes temas, facilitando a interpretação aplicada uma vez que a grande quantidade de componentes envolvidos e escalas de ocorrência trazem muita complexidade para a representação da realidade.

13.2 Agricultura irrigada no Brasil

A utilização da irrigação acontece desde as antigas civilizações. No Brasil, esta prática ocorre desde o início da década de 1900, quando auxiliava a produção de arroz no Rio Grande do Sul (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017). A irrigação é fundamental para o aumento da produtividade, garantindo assim, a estabilidade na produção de alimentos. Além disso, esta técnica minimiza os riscos climáticos e otimiza o uso de insumos e equipamentos. Em regiões áridas e semiáridas, a irrigação é imprescindível, pois nestas áreas a segurança produtiva é bastante afetada pela escassez contínua de água.

Segundo dados da Food and Agriculture Organization (2017), o Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. Nesta classificação, o país pertence ao grupo que possui área entre 4 e 7 Mha, que inclui Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha. No último levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017), o Brasil possuía cerca de 6,95 Mha de área irrigada, utilizando diversas técnicas de irrigação. Destes, a região que apresenta a maior extensão de área irrigada é a Sudeste, com 2,71 Mha, seguida por Sul (1,70), Centro-Oeste (1,18), Nordeste (1,17) e Norte (0,19). Entre os anos de 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil saltou de 0,45 para 6,95 Mha. Além disso, de acordo com ANA e Embrapa (2019), ocorreu aumento de 43,3% (+382 mil ha) na área irrigada entre 2006 e 2014, especialmente utilizando pivô central. Os dados dos últimos Censos Agropecuários do IBGE também reforçam o aumento expressivo dos pivôs no Brasil (INSTITUO BRASILEIRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011). Os pivôs expandiram-se sobre 542 mil hectares entre os levantamentos de 2006 e 2017, aumentando sua participação de 19,6% para 20,8% em relação aos demais métodos e sistemas de irrigação levantados pela pesquisa Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e Embrapa (2019).

Em 2017 a ANA divulgou o Atlas de Irrigação do Brasil, onde foi demonstrado o uso da água na agricultura irrigada em cada região e Unidade da Federação (UF). São Paulo, Minas Gerais, Tocantins e Bahia são os estados que mais apresentam áreas irrigadas. A região Norte apresenta baixo desenvolvimento da agricultura irrigada, o que representa 2,8% da área irrigada do país, ressaltando que a maior parte deste valor é devido as áreas de arroz irrigado no Tocantins. Logo após a região Norte está a região Nordeste, com 16,8% das áreas irrigadas brasileiras. A região Centro-Oeste foi a região com maior expansão na área irrigada nos últimos 20 anos, chegando a 17% no ano de 2015, o que representa uma área plantada de 1,2 Mha. A região Sul, pioneira em irrigação no país, é a segunda maior, com 24,4% das áreas irrigadas brasileiras. Por fim, a região Sudeste apresenta a maior área irrigada do país (34% das áreas irrigadas brasileiras) e vem apresentando aumento expressivo nos últimos anos. Nesta região, São Paulo e Minas Gerais representam 87,9% do total de área irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

No intuito de contribuir com informações e colaborar com o trabalho de todos os envolvidos com a agricultura irrigada no Brasil, os fabricantes de sistemas de irrigação associados à Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da ABIMAQ sistematizam

informações sobre a evolução da expansão da agricultura irrigada no país desde de 2000 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2019). As informações indicam que em 2000 o país tinha 3.068.480 hectares irrigados, passando para 6.023.087 hectares em 2018, ou seja, uma expansão média de 161.744 hectares por ano. Se considerados apenas os últimos 5 anos, essa média salta para 205.316 hectares de expansão por ano.

No entanto, pode-se dizer que a irrigação no Brasil é considerada pequena frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. De acordo com estudo realizado por Borghetti *et al.* (2017), o Brasil teria potencial para aumentar a área irrigada em 4,5 Mha até 2024, um salto de 65%, em relação a área irrigada atual.

13.3 Potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil

Segundo dados da Food and Agriculture Organization (2011), o Brasil está entre os quatro países com maior área potencial para irrigação. Sparovek *et al.* (2014) verificaram uma área que 2,2 Mha (37% da área irrigada em 2012) que estão em regiões que não contam com a possibilidade de expansão pelo esgotamento da água disponível e 2,7 Mha (44% da área irrigada em 2012) que se encontram em regiões em que há importante possibilidade de expansão, porém fora de áreas de prioridade de intervenção pública; e ainda 1,1 Mha (19% da área irrigada em 2012) estão em localidades com possibilidade de expansão onde se justifica intervenção pública com o objetivo de desenvolver a região de forma sustentável. Essas mesmas regiões concentram 36% da capacidade adicional de área irrigável (27 Mha) do Brasil.

Quanto ao potencial de expansão da área irrigada no Brasil, os dados consolidados pelo Atlas Irrigação da ANA apontam áreas adicionais irrigáveis de até 76,2 Mha (potencial físico total) e ressaltam a acelerada expansão da agricultura irrigada no Brasil tanto ao longo das décadas (longo prazo) quanto no período recente, com forte aceleração no curto prazo (última década). O indicador de potencial efetivo de expansão que considera apenas áreas de maior aptidão física e existência de condições técnicas favoráveis, escoamento da produção e energia elétrica, apresentou um volume de 11,2 Mha (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2019).

Considerando a ainda pequena área irrigada do Brasil frente à sua área adicional irrigável, o desenvolvimento da agricultura irrigada apresenta enorme potencial por interesses movidos: (i) pelos ganhos de eficiência e redução de risco de insucesso da produção agrícola, (ii) pela promoção de desenvolvimento social e econômico em regiões propícias à intensificação da produção ou limitadas pela escassez ou irregularidade do regime natural das chuvas, (iii) pela redução de impactos ambientais, dada a menor necessidade de expansão da área agrícola face às maiores produtividades dos cultivos irrigados, e (iv) pela segurança alimentar considerada a possibilidade de produção eficiente próxima aos centros de consumo e em maior amplitude de condições climáticas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

Estes interesses são compartilhados pelo setor público, pela promoção do bem-estar coletivo, e privado, pela maior competência produtiva alcançada pelo agricultor, seja ele pequeno ou grande (CHRISTOFIDIS, 2002).

13.4 Modelo de análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada

Antecedendo ao aperfeiçoamento do modelo de análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada, a seguir é apresentado um resumo do modelo de Sparovek *et al.* (2014).

13.4.10 modelo desenvolvido: dos pressupostos e funcionalidade

A análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil se refere ao estudo de modelagem espacial de cobertura nacional desenvolvido por Sparovek *et al.* (2014), o qual considera a área agrícola irrigada e a adicionalmente irrigável do Brasil no contexto de sua governança pública e privada, contemplando o ambiente físico com temas ambientais, sociais e econômicos. O modelo trata de representações simplificadas e agregadas de diferentes temas contemplados por intermédio de chaves classificatórias. A metodologia desenvolvida auxilia a melhor compreensão da realidade, possibilitando testar cenários com o caráter quantitativo dos métodos e a representação espacial precisa das variáveis.

O modelo proposto não deve, portanto, ser usado como substituo de qualquer outro processo de apoio à decisão local que seja capaz de captar a complexidade específica. Seu uso, no entanto, permite a visão ampla da complicação do problema, além de possibilitar um ponto de partida importante para as análises locais. As realidades locais estão relacionadas com a complicação que certamente capta parte de sua dinâmica, componentes e comportamento.

Apenas a título de comparação, conhecer, por exemplo, o efeito geral que uma falha do metrô produz sobre o trânsito não permite saber se virar a próxima rua a direita vai ser melhor do que seguir um pouco mais e pegar o viaduto, mas é um forte indicativo de que a viagem será mais longa e permite orientar decisões ligadas a este conceito, por exemplo, avisar do atraso, mas sem saber exatamente quanto.

O desenvolvimento da agricultura irrigada precisaria contemplar uma metodologia que ao mesmo tempo considerasse complicação e complexidade. Um sistema apenas complicado, sem ser complexo, poderia ser precisamente representado por modelos que desconsideram as relações não lineares entre múltiplas escalas.

O ideal, no caso do desenvolvimento da agricultura irrigada, seria considerar um modelo que lidasse bem com ambos, a complexidade e a complicação. Mas, infelizmente, a modelagem de sistemas ao mesmo tempo complicados e complexos ainda não tem amparo metodológico adequado na ciência.

Para retratar a complexidade é preciso abrir mão da complicação. Para considerar todos os componentes envolvidos, a complicação, é preciso desconsiderar em parte a complexidade, ignorando as relações não lineares entre escalas progressivamente menores.

O modelo de Sparovek *et al.* (2014) opta pela complicação ao invés da complexidade, sendo esperado que gere resultados distintos quando medidos em escala mais detalhada.

As bases de dados do modelo são essencialmente quantitativas, processando variáveis físicas (p.e. vazão dos rios e evapotranspiração das plantas), dados censitários (p.e. valor da produção da agricultura, renda rural), ou índices derivados de modelos físicos de representação de realidades mais complexas (p.e. topografia, *deficit* hídrico e atributos do solo convertidos em classes de aptidão agrícola).

Além do caráter quantitativo, por vezes redefinido em categorias, os autores atribuíram dimensão espacial ao conjunto de dados. A dimensão espacial é essencial para o relacionamento dos dados com outros temas ligados ao meio ambiente (como interesse para conservação, áreas sob proteção pública ou privada), à legislação (Código Florestal) e de caráter geral do ambiente rural, como características da matriz produtiva (familiar ou não familiar) e pobreza rural.

A relação espacial explícita é imprescindível para comparar todas estas dimensões com a escala de manifestação da realidade física da agricultura irrigada, que é a sua bacia hidrográfica. De acordo com Sparovek *et al.* (2014), a modelagem exigiu grande esforço metodológico, tornando os métodos de difícil operação por usuários não especializados no seu

nível mais próximo aos dados. A interface com o usuário final, traduzida por uma ferramenta de consulta, foi, por isto, simplificada.

Desta maneira, a interface com o usuário final preservou as características de modelos de análise narrativa. Para o usuário final a parte quantitativa do modelo é transparente. A este é permitido entender facilmente o relacionamento das diversas partes do modelo através de duas chaves de perguntas que remetem a conceitos de lógica narrativa.

13.4.2 Necessidade de irrigação, área adicional irrigável e área irrigada

A primeira chave do modelo de Sparovek *et al.* (2014) remete às perguntas sobre os aspectos físicos do desenvolvimento da irrigação e são tratadas na escala de Ottobacias de nível 12, num total de 168.843 em todo o país, com área média de cerca de 5 mil hectares. A necessidade de irrigação da bacia foi classificada em alta, média ou baixa. As classes refletem o nível de restrição hídrica ao qual as culturas de milho (*Zea mays*) e de feijão (*Phaseolus vulgaris*) estão sujeitas durante seu ciclo completo de desenvolvimento. Sendo assim, espera-se aumento de produtividade sob irrigação quando comparado ao cultivo de sequeiro tanto de milho (semeado em agosto) quanto de feijão (semeado em março). Quanto maior a necessidade de irrigação, maior será a diferença de produtividade. Em suma, esta variável reflete o benefício esperado da irrigação.

A segunda chave remete à pergunta referente à área adicional irrigável (muito, médio ou pouco) na Ottobacia de nível 12. As classes usam como *proxy* de categorização a área irrigável adotando metade do volume outorgável não utilizado de água dos rios da Ottobacia de nível 12, após descontadas as áreas protegidas tanto de domínio público, como as Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs), quanto de domínio privado, como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas de Reserva Legal (RL), além das áreas já utilizadas com irrigação.

A terceira chave remete à pergunta referente à área irrigada da bacia, a qual pode ser muito ou médio (combinados) ou pouco. As classes foram concebidas com base nos dados fornecidos pela ANA sobre área irrigada para o ano de 2012. Essa variável denota a infraestrutura existente na Ottobacia de nível 12, bem como a capacidade e estratégia consolidadas para suporte de agricultura irrigada. Essa variável pode indicar locais em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva. Sendo assim, pode nortear os futuros planos de expansão ou de apoio. A Tabela 1 mostra as classes derivadas das três chaves do modelo.

Salienta-se o significado dos seguintes termos: (i) área de expansão: são áreas que representam as combinações onde existe tanto o potencial de expansão adicional quanto a área de agricultura irrigada já estabelecida. A infraestrutura, a tecnologia, os serviços de apoio, o conhecimento acumulado sobre a técnica de irrigação já está na Ottobacia de nível 12, a qual apresenta potencial de expansão da área irrigada, (ii) área de reserva técnica: representa a combinação de muita área adicional irrigável e pouca área irrigada, conseqüentemente a infraestrutura, os serviços e o conhecimento da técnica não estão disponíveis pela falta de área efetivamente irrigada. Os investimentos e os esforços para o desenvolvimento da agricultura irrigada nessas áreas serão maiores. O termo 'reserva técnica' indica que a implantação de irrigação ou sua expansão é possível, mas não prontamente. São as áreas de expansão futura, (iii) manutenção e redirecionamento: representa a combinação de pouca área adicional irrigável e muita área irrigada, ou seja, o potencial que havia já está sendo plenamente utilizado. Expandir levaria a impactos ambientais ou a conflitos pelo uso da água com outros usos. Manter o que existe de irrigação num primeiro momento e redirecionar o desenvolvimento da bacia para usos que não impliquem em irrigação adicional são sugeridos como dinâmica para esta classe, e (iv) outra estratégia de desenvolvimento: representa combinação de pouca área adicional irrigável e ainda pouco ou não estabelecimento de

irrigação na bacia. O desenvolvimento da bacia nesta combinação deve procurar outras opções que não a irrigação, independente da sua necessidade ou não.

Tabela 2. Chave de três itens (necessidade de irrigação, área adicional irrigável e área irrigada) gerando as duas classes: (i) classe territorial de agricultura irrigada e (ii) classe de prioridade (SPAROVEK *et al.*, 2014).

Necessidade de irrigação	Área adicional irrigável	Área irrigada	Classe territorial de agricultura irrigada (Nível 1)	Classe de prioridade (Nível 2)
Alta	Muito	Muito ou médio	Expansão	Alta
		Pouco	Reserva técnica	Alta
	Médio	Muito ou médio	Expansão	Alta
		Pouco	Reserva técnica	Média
	Pouco	Muito ou médio	Manutenção e redirecionamento	Alta
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
Média	Muito	Muito ou médio	Expansão	Média
		Pouco	Reserva técnica	Baixa
	Médio	Muito ou médio	Expansão	Média
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
	Pouco	Muito ou médio	Manutenção e redirecionamento	Média
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
Baixa	Muito	Muito ou médio	Expansão	Baixa
		Pouco	Não prioritário	
	Médio	Muito ou médio	Expansão	Baixa
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
	Pouco	Muito ou médio	Manutenção e redirecionamento	Baixa
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	

As classes, com exceção da classe outra estratégia de desenvolvimento, são subdivididas de acordo com a necessidade de irrigação em relação à alta, média ou baixa prioridade.

A segunda chave remete às perguntas sobre a tipologia do agricultor (familiar ou não familiar), a aptidão agrícola das terras em cultivo de sequeiro, ao desenvolvimento rural e ao interesse ambiental de conservação. Esta chave define de forma mais abrangente e completa a prioridade de irrigação, quem se beneficia dela, e a forma e intensidade de intervenção pública ou privada. A Tabela 2 mostra as classes de prioridade de irrigação, de acordo com Sparovek *et al.* (2014).

Tabela 3. Chave de classificação das variáveis que definem a prioridade de irrigação (SPAROVEK *et al.*, 2014).

Dinâmica agrícola	Desenvolvimento municipal	Aptidão agrícola	Interesse ambiental	Classe territorial rural (Nível 1)	Classe territorial rural específica (Nível 2)	Classe territorial rural específica e orientação (Nível 3)
Não familiar	Alto	Alto ou média	Extremo	Estável	Estável-não familiar	Estável-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Estável	Estável-não familiar	Estável-não familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Independente	Independente-não familiar	Independente-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Independente	Independente-não familiar	Independente-não familiar (orientação produtiva)
	Médio ou baixo	Alto ou média	Extremo	Alterável	Alterável-não familiar	Alterável-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Alterável	Alterável-não familiar	Alterável-não familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Apoiada	Apoiada-não familiar	Apoiada-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Apoiada	Apoiada-não familiar	Apoiada-não familiar (orientação produtiva)
Coexistente	Alto	Alto ou média	Extremo	Estável	Estável-coexistente	Estável-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Estável	Estável-coexistente	Estável-coexistente (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Independente	Independente-coexistente	Independente-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Independente	Independente-coexistente	Independente-coexistente (orientação produtiva)
	Médio ou baixo	Alto ou média	Extremo	Alterável	Alterável-coexistente	Alterável-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Alterável	Alterável-coexistente	Alterável-coexistente (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Apoiada	Apoiada-coexistente	Apoiada-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Apoiada	Apoiada-coexistente	Apoiada-coexistente (orientação produtiva)
Familiar	Alto	Alto ou média	Extremo	Estável	Estável-familiar	Estável-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Estável	Estável-familiar	Estável-familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Independente	Independente-familiar	Independente-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Independente	Independente-familiar	Independente-familiar (orientação produtiva)
	Médio ou baixo	Alto ou média	Extremo	Alterável	Alterável-familiar	Alterável-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Alterável	Alterável-familiar	Alterável-familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Apoiada	Apoiada-familiar	Apoiada-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Apoiada	Apoiada-familiar	Apoiada-familiar (orientação produtiva)

Salienta-se, ainda, o significado dos seguintes termos: (i) estável: combinações que resultam de elevado desenvolvimento municipal com alta ou média aptidão para agricultura não irrigada, ou seja, a sistemática agrícola presente, seja ela familiar ou não, promoveu o desenvolvimento rural adequado, (ii) independente: combinações que resultam de elevado desenvolvimento municipal com baixa aptidão para agricultura não irrigada, ou seja, o desenvolvimento rural ocorreu à parte da aptidão agrícola das terras, (iii) alterável: combinações que resultam de baixo ou médio desenvolvimento municipal com alta ou média aptidão para agricultura não irrigada, ou seja, o modelo agrícola existente, qualquer que seja, não promoveu o desenvolvimento rural adequado, apesar das boas condições do meio físico (aptidão agrícola para agricultura não irrigada), e (iv) apoiada: combinações que resultam de baixo ou médio desenvolvimento municipal com baixa aptidão para agricultura não irrigada, independente da tipologia de produção. Fomentar sistemas agrícolas tradicionais não é uma forma de desenvolvimento promissora, pela restrição imposta pelo meio físico.

Para a definição de prioridade para irrigação Sparovek *et al.* (2014) consideraram que as classes estável e independente apresentam menor prioridade de intervenção pública, por já apresentarem adequado desenvolvimento. As ações privadas, na sua combinação com expansão e reserva técnica, no entanto, são bem vindas, justificadas por benefícios coletivos decorrentes da ampliação da base de agricultura irrigada, mesmo que não sejam emergenciais do ponto de vista local.

A combinação de alterável com expansão merece destaque de intervenção pública. A área efetivamente irrigada numa bacia nunca será a sua área potencialmente agricultável total. A combinação de alterável com expansão associa a necessidade decorrente do baixo ou médio desenvolvimento municipal com a possibilidade de expandir uma base irrigada já existente, portanto, menos carente de investimentos em infraestrutura, serviços e Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER). Isto, além de tudo, poderá beneficiar indiretamente a produção de sequeiro, que poderá se desenvolver na parte da bacia que não será irrigada. A combinação de apoiada com expansão produz efeito semelhante, mas com benefícios menores para a agricultura de sequeiro. A Tabela 3 apresenta os indicativos de maior ou menor interesse de intervenção pública ou privada das classes territoriais.

Tabela 4. Combinação da chave física com a chave de prioridade (SPAROVEK *et al.*, 2014).

Chave física	Chave Prioridade	Designação
Expansão	Alterável	Máximo interesse de intervenção pública
	Apoiada	Interesse elevado de intervenção pública
Reserva técnica	Alterável ou apoiada	Interesse compartilhado de intervenção pública e privada
Expansão ou Reserva técnica	Estável ou independente	Fomento de interesse privado
Manutenção e redirecionamento	Alterável ou apoiada	Intervenção pública específica e Monitoramento e regulamentação
	Estável ou independente	Monitoramento e regulamentação
Outra estratégia de desenvolvimento	Estável, independente, alterável ou apoiada	Monitoramento

A interação do gestor com o modelo de Sparovek *et al.* (2014), traduzida na ferramenta analítica de consulta sobre irrigação, pode se dar a partir desta chave de classificação categórica que contempla as duas dimensões consideradas (física e prioridade), gerando classes que reportam diretamente para as estratégias de intervenção recomendadas, sua origem pública ou privada e prioridade. Outras combinações de classes, p.e. as classes de interesse ambiental da chave de prioridade ou a tipologia do produtor, podem ser geradas a partir da ferramenta analítica completa e contemplar recortes específicos. As classes sugeridas tiveram como critério sua abrangência em tratar o tema do desenvolvimento e da agricultura

irrigada e não pretendem responder questões mais específicas. A Tabela 4 apresenta, de forma sistemática, a interpretação das ações sugeridas para cada classe territorial.

Tabela 5. Classes sugeridas suas respectivas interpretações (SPAROVEK *et al.*, 2014).

Designação	Ação	Interpretação
Máximo interesse de intervenção pública	Expandir e promover a agricultura irrigada agora ou no futuro com prioridade de intervenção pública.	A tipologia agrícola presente apesar da boa condição do meio físico não desenvolveu o ambiente rural do município, existe irrigação na bacia e seu potencial de expansão é grande. A intervenção pública se justifica pelo interesse coletivo do desenvolvimento, pela ineficácia com que o atual modelo produtivo beneficiou o coletivo e pela facilidade de promover o desenvolvimento da agricultura irrigada como opção de longo prazo para a bacia, tanto para a área irrigada como não irrigada.
Interesse elevado de intervenção pública		Situação semelhante à anterior com exceção da menor possibilidade de o desenvolvimento da irrigação favorecer a agricultura não irrigada pela baixa aptidão do meio físico.
Interesse compartilhado de intervenção pública e privada	Expandir e promover a agricultura irrigada agora ou no futuro com prioridade de intervenção privada.	Situação semelhante à primeira com exceção da pouca presença de agricultura irrigada na bacia, o que dificulta e encarece a implantação de sistemas irrigados.
Fomento de interesse privado		Situação semelhante à primeira, com exceção do desenvolvimento municipal já ser elevado o que não motiva prioridade na intervenção pública que deve ser compartilhada com maior compromisso de iniciativas privadas.
Monitoramento e regulamentação	Monitorar impactos e procurar outras alternativas	A área total irrigável já está sendo utilizada próximo de sua capacidade máxima. A expansão leva a riscos elevados de impactos ambientais ou uso concorrente da água. Considerando o já elevado desenvolvimento municipal, cabe o monitoramento da bacia e a busca por alternativas de desenvolvimento rural que não impliquem em irrigação adicional.
Intervenção pública específica e Monitoramento e regulamentação		Situação semelhante à anterior com exceção do menor desenvolvimento municipal. Considerando que há irrigação em grande quantidade na bacia, intervenções de expansão específicas e de pequena área que não levem a custos ambientais podem ser apoiados por iniciativas públicas ou privadas visando, em curto prazo, o desenvolvimento municipal. A busca por alternativas de desenvolvimento rural que não impliquem em irrigação adicional devem nortear as visões de médio e longo prazo.
Monitoramento	Procurar outras alternativas	O desenvolvimento da agricultura irrigada não é viável do ponto de vista físico. As estratégias de desenvolvimento para a bacia não devem considerar esta opção.

13.4.3 Área irrigável e área irrigada no Brasil

A Figura 1 ilustra o resultado espacial e a Tabela 5 apresenta os valores de área potencialmente irrigável e área irrigada para as classes de território resultantes da combinação da chave física com a de prioridade.

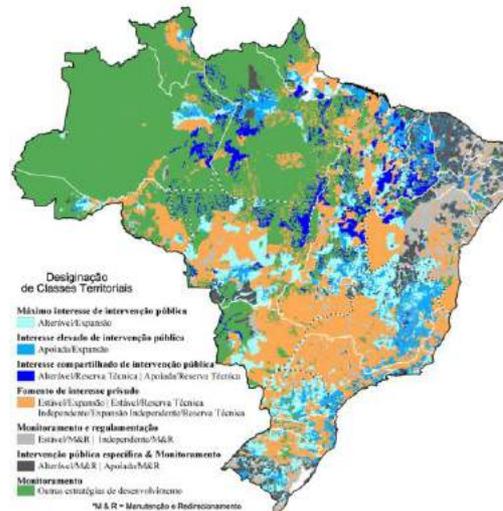


Figura 1. Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil: designação de ação para classes territoriais (SPAROVEK *et al.*, 2014).

O total de área irrigável (irrigado mais adicional irrigável) estimada por Sparovek *et al.* (2014), sem que fossem impostas restrições maiores ao adicional irrigável como disponibilidade logística, aptidão agrícola, relevo (tomando como base apenas a metade da disponibilidade de água não utilizada nos rios e terras para receber esta água) foi de 81 Mha, dos quais 7,4% estavam já sendo irrigados à época da publicação do estudo.

A área adicional irrigável somava no total 75 Mha, dos quais 14 Mha (18%) se encontravam em situações em que não havia indicação de expansão da área agricultura irrigada, 34 Mha (45%) em que não se justificava intervenção pública de incentivos os subsídios, e 27 Mha (36%) em que havia maior interesse por intervenção pública motivado pelo interesse (21 Mha) ou pela oportunidade (6 Mha) de promover desenvolvimento rural.

Da área total irrigada de 6,0 Mha, uma parcela de 2,2 Mha (37%) se concentrava em áreas em que a expansão sobre área adicional irrigável não seria possível sem impactos ambientais ou competição por outros usos da água. Estas bacias irrigavam em média 99% de sua área total irrigável e eram representadas pelo entorno de regiões metropolitanas e boa parte do agreste e sertão nordestinos.

A combinação de estável com expansão apresentava os maiores estoques de área adicional irrigável (22 Mha) e área irrigada (2,2 Mha), um valor semelhante à soma da classe manutenção e redirecionamento. A combinação de estável com expansão representava situações em que a agricultura (principalmente a não familiar) se estabeleceu e em parte já era irrigada (9,1% da área total irrigável é irrigada), tendo promovido desenvolvimento rural e ocorrido em áreas em que a oferta hídrica nos rios ainda era grande, ou seja, de baixa densidade populacional e industrialização que promove usos concorrentes da água importantes. Sua expressão geográfica era abrangente, ocorrendo em muitas regiões, mas com menores ocorrências no Nordeste, norte de Minas Gerais e metade sul do Rio Grande do Sul.

13.4.4 Aprimoramento da análise territorial para a agricultura irrigada

Tomando como referência o estudo desenvolvido por Sparovek *et al.* (2014), em 37% (2,2 Mha) da área irrigada não há possibilidade da expansão da irrigação principalmente pelo fato de não haver mais água disponível. Outros 44% (2,7 Mha da área irrigada) está em regiões em que há importante possibilidade de expansão (utilização média de 7,4% da área total irrigável), mas fora de áreas de prioridade de intervenção pública. As áreas em que há possibilidade de expansão e justificam intervenção pública importante representam 19% da área irrigada (1,1 Mha) e contém 36% da capacidade adicional de área irrigável (27 Mha).

De acordo com os autores, o estudo teve em sua execução um caráter intenso em termos de desenvolvimento metodológico, processamento de dados e consolidação de resultados, porém a conclusão do estudo, segundo os autores, não deveria configurar o término de um processo analítico ou a consolidação de certezas, mas sim abrir espaço para um aprofundamento das questões colocadas, mediante a realização de estudos que possam validar e também complementar os conceitos e cálculos propostos. A agregação e ampliação de competências metodológicas às aqui apresentadas e investigações detalhadas de campo, a fim de captar a complexidade, são sequências consideradas desejadas e necessárias pelos autores, assim como a discussão aberta com a comunidade científica, técnica e operacional envolvida no tema da irrigação.

Ainda segundo os autores, análise territorial e modelagem espacial na rotina de formulação e gestão pública e sua interface com a governança privada constituem processos dinâmicos, que se beneficiam da discussão conjunta de cenários e incorporação de ajustes na forma de interpretação das variáveis.

13.5 Análise territorial e políticas públicas

No Brasil a principal ação prática no sentido de reorganização do espaço econômico regional e sua integração nacional foi viabilizada ainda no governo de Juscelino Kubitschek, em 1959, com a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE (SILVA, 2011), quando já se pensava no território como uma unidade para o desenvolvimento de políticas públicas.

O reconhecimento do território como um instrumento central para a orientação de uma ação pública coordenada é uma postura inovadora na condução das políticas públicas contemporâneas, capaz de auxiliar a solucionar entraves históricos ao desenvolvimento nacional (MENDES, 2008 *apud* SILVA, 2011).

A questão do estabelecimento de escalas regionais apropriadas na elaboração de políticas públicas é essencial para maiores e melhores resultados. Nesse sentido é fundamental a construção de escalas espaciais analíticas e políticas adequadas a cada problema concreto a ser diagnosticado e enfrentado (BRANDÃO, 2007).

O conceito de território começou a ganhar espaço no meio acadêmico e político-institucional para fins de definição da agenda governamental, fato que acarretou no surgimento de diversos programas que se reportam ao território para justificar a adoção de um novo programa ou uma metodologia de intervenção. Esta nova estratégia de ação pública passou a ser denominada abordagem territorial do desenvolvimento (SILVA, 2011).

A gestão pública no Brasil vem passando por um processo intenso de "complexificação" técnica nos últimos anos, com a incorporação de novos métodos e ferramentas para elaboração de diagnósticos, para a identificação espacial das áreas de intervenção, para o monitoramento dos programas e para a tomada de decisão de modo geral (JANUZZI *et al.*, 2009).

A implantação de uma política pública geralmente é complexa e envolve a análise de uma grande quantidade de informações de diferentes áreas. A tomada de decisão sem a consideração e integração adequada destes fatores leva a políticas mal formuladas que não otimizam a agregação de valor para a sociedade (PEREIRA, 2009 *apud* FERRAZ *et al.*, 2015).

Esse conceito de análise do territorial associada a uma política pública, utilizando modelagens complexas e resultados simplificados para servir de ferramenta de tomada de decisão para aos gestores públicos, foi amplamente trabalhado por Sparovek *et al.* (2013), com o estudo "Análise territorial e políticas para o desenvolvimento agrário". Esse trabalho buscou construir um modelo espacialmente explícito de conversão de variáveis sintéticas complexas individualmente, a partir de uma macroestrutura de organização, baseada na sua dimensão espacial explícita, tendo a territorialidade como elemento comum a todas essas dimensões, possibilitando seu tratamento conjunto. Nesse estudo foi construída a simplificação de cada variável para que os detalhes não comprometessem a visão de conjunto, tomando cuidados para que tal simplificação não fizesse com que sua composição ficasse distante da situação fática verificável, ou seja, para que a variável não perdesse a vinculação com a realidade.

13.6 Aperfeiçoamento de variáveis da metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada

O presente trabalho visou aperfeiçoar e desenvolver novos métodos e abordagens para análise e geração de informação territorial suficientemente robusta e de abrangência nacional em relação à qualidade do espaço rural para desenvolvimento e expansão da agricultura irrigada, através da construção e integração de variáveis.

O trabalho desenvolvido tem a seguinte frente: aperfeiçoamento de variáveis utilizadas na metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada, desenvolvido por Sparovek *et al.* (2014).

13.6.1 Necessidade de irrigação da cultura

A primeira variável trabalhada no aprimoramento do modelo de Sparovek *et al.* (2014) foi a Necessidade de irrigação da cultura (INIC), que representa uma macrogeografia da necessidade de irrigação de culturas de forma ampla, através de uma categorização do território em regiões em que a irrigação é (i) necessária, (ii) eventual e (iii) não dispensável. A variável INIC foi estudada para que o processamento fosse realizado a partir de mais culturas, fazendo com que as informações geradas fossem mais robustas. Além das culturas de milho e feijão, trabalhadas inicialmente por Sparovek *et al.* (2014), foram incorporadas mais três culturas (arroz, cana-de-açúcar e soja), formando o conjunto das cinco principais culturas agrícolas do país por sua importância socioeconômica e ocupação de terras no Brasil.

Inicialmente buscou-se definir, por município, os principais meses de semeadura das cinco culturas mencionadas. A escolha dos principais meses de semeadura foi realizada com base nos dados do Censo Agropecuário de 2006, obtidos no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) - Produção, Venda, Valor da produção e Área colhida da lavoura temporária por produtos da lavoura temporária, uso de irrigação, uso de agroquímicos, uso de adubação e principal mês de plantio e de colheita. Os dados obtidos em forma de tabelas foram processados e separados em "irrigadas" ou "sequeiro", para o recorte geográfico de municípios do Brasil.

O principal mês de semeadura para cada cultura, diferenciadas em irrigadas e sequeiro, foi definido como sendo o mês em que houve maior ocorrência de números de estabelecimentos plantando determinada cultura para cada município. As tabelas contendo os principais meses de semeadura foram unidas em um sistema de informação geográfica (SIG)

à malha geográfica municipal do Brasil para sua apresentação de resultados na forma de mapas.

13.6.1.1 Transposição dos principais meses de semeadura para a malha climática do Brasil

Com a finalidade de reduzir o efeito dos limites político-administrativos nos mapas resultantes, optou-se por utilizar a malha climática com a classificação Köppen-Geiger para o Brasil, como máscara representativa dos principais meses de plantio, conforme pode ser observado na Figura 2.

Esse procedimento foi realizado em ambiente SIG, transformando a malha municipal contendo as informações de principais meses de semeadura do formato vetorial (*shapefile*) para o formato matricial (raster). Na sequência a malha climática foi transformada do arquivo matricial (raster) para o formato vetorial (*shapefile*).

Essas transformações são necessárias para o processo de extração da moda dos valores de principal mês de semeadura para a camada climática, resultando em uma representação dos principais meses de semeadura baseada nos limites climáticos. Esse procedimento foi realizado para as cinco culturas estudadas.

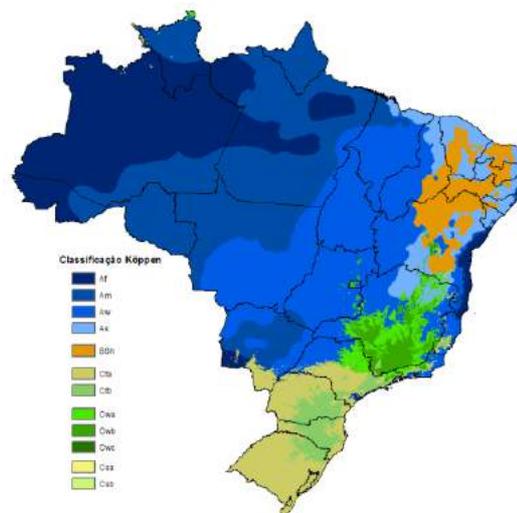


Figura 2. Malha climática com a classificação de Köppen-Geiger para o Brasil.

13.6.1.2 Junção dos principais meses de semeadura para as Ottobacias

Nesse estudo, assim como no desenvolvido por Sparovek *et al.* (2014), adotou-se como unidade básica de processamento dos resultados a base de dados de ottobacias nível 12 da Agência Nacional de Águas (ANA) que recobrem toda a área nacional (de acordo com a Agência Nacional de Águas, ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. As bacias hidrográficas correspondem à agregação das áreas de contribuição hidrográfica, conhecidas como ottobacias, no nível 1 - http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/e4f86bece83c44e28501924a19c5a586_0 - No caso do presente trabalho, as ottobacias utilizadas (nível 6) são de maior dimensão do que as de nível um. Download do mapa em shapefile em: http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/e4f86bece83c44e28501924a19c5a586_0/data (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2012).

O procedimento de junção dos principais meses de semeadura para a base de dados de ottobacias foi realizado transformando os polígonos das ottobacias em pontos (centroides)

que receberam os valores de principal mês de plantio a partir da malha climática de acordo com a intersecção espacial entre as duas camadas de dados.

13.6.1.3 Obtenção do índice de necessidade de irrigação para as culturas

Para as culturas graníferas (milho, feijão, arroz e soja) selecionadas, independentemente, estimou-se o INIc, o qual é dado pela média geométrica de três subíndices referentes a três fases de desenvolvimento: (i) implantação da cultura, (ii) florescimento e (iii) enchimento de grãos. A fase de maturação foi também simulada para as culturas analisadas, mas apenas as três primeiras fases foram consideradas para efeito de cálculo do INIc, conforme realizado em Sparovek *et al.* (2014).

A primeira fase, que vai do momento da semeadura até o estágio fenológico correspondente ao estabelecimento, é afetada pela disponibilidade de água e define a população final da lavoura. A população final, por sua vez, é um fator de produção decisivo dependente diretamente do homem, porém associado ao genótipo e aos fatores abióticos como temperatura do ar, radiação solar, fotoperíodo, disponibilidade de água e de dióxido de carbono e genótipo. Na segunda fase, a disponibilidade de água durante florescimento das culturas afeta a definição do número de grãos por planta (número de grãos por espiga e prolificidade, no caso da planta média de milho e arroz); e número de vagens por planta e número de grãos por vagem no caso da planta média de feijão e soja). Esse é o período que ocorre a coincidência da máxima demanda por água (em termos de transpiração ou evapotranspiração) e máxima sensibilidade à deficiência hídrica. A máxima demanda ocorre devido ao maior índice de área foliar. A máxima sensibilidade à deficiência ocorre devido à inversão da partição de carbono no período logo após o florescimento, onde há a mudança dos drenos fisiológicos: órgãos vegetativos (raiz, folha e caule/haste) por órgãos reprodutivos (no caso dos genótipos de hábito de crescimento determinado). Na terceira fase, a disponibilidade de água durante o período de enchimento de grãos das culturas define a massa de grãos, com acréscimo do teor de substâncias de reserva e decréscimo do teor de água.

Para a cana-de-açúcar se dividiu o ciclo em quatro fases principais: (i) emergência, (ii) perfilhamento, (iii) rápido crescimento, e (iv) maturação; entretanto também foram consideradas apenas as três primeiras fases para o cálculo do INIc. A primeira fase, que vai do momento do plantio/corte até a emergência/rebrota da cultura, é afetada pela disponibilidade de água, na medida em que a germinação da cultura é afetada pela temperatura do solo. Apesar a relativa tolerância da cultura ao *deficit* hídrico, é necessário que haja um nível mínimo de umidade para evitar a morte da soqueira. As fases de perfilhamento e rápido crescimento são bastante dependentes da umidade do solo, uma vez que nessas fases define-se também a população final e a biomassa produzida pela cultura.

O índice de satisfação da necessidade de água foi concebido considerando a importância da água na composição da matéria, diretamente (fonte de hidrogênio e oxigênio) ou indiretamente (fonte de carbono e oxigênio devido à fotossíntese). Aproximadamente 96% da massa de matéria seca é constituída por carbono (45%), oxigênio (45%) e hidrogênio (6%) e, portanto, 4% de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Ni e outros átomos não essenciais (Si, Na e Co, principalmente); ou, cerca de 99,2% da massa de matéria fresca é constituída por carbono, oxigênio e hidrogênio quando a planta se encontra com 80% de água. Sendo assim, a evapotranspiração real (ET_r) está fortemente relacionada à produtividade, porque todos os processos que afetam a fotossíntese também afetam a transpiração. Para o cálculo da evapotranspiração real, armazenamento de água no solo, deficiência e excedente hídrico, foi realizado o balanço hídrico segundo metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), utilizando o critério de Mendonça (1958) para iniciar o balanço hídrico.

Para o cálculo do Índice de Necessidade de Irrigação da cultura *c* (INIc), tem-se:

$$INI_c = \sqrt[3]{\prod_{f=1}^3 ISNA_{f,c}} \quad (1)$$

Portanto, quanto menor o valor de INI_c , mais restritiva seriam as condições climáticas para cultivo de sequeiro, seguindo o princípio de valores mais baixos condizendo com situações de menor "qualidade". Para o cálculo do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) durante a fases de 1 a 3 da cultura indicadora c (Tabela 6) e para cada fase fenológica considerada, sendo primeira fase ($f = 1$), da segunda fase ($f = 2$) e da terceira fase ($f = 3$) tem-se:

$$INI_{f,c} = \sqrt[3]{ISNA_{1,c} \cdot ISNA_{2,c} \cdot ISNA_{3,c}} \quad (2)$$

$$ISNA_{f,c} = \frac{ETr_{f,c}}{ETC_{f,c}} \quad (3)$$

em que $ETr_{f,c}$ é a evapotranspiração real do cultivo c na fase f (mm fase^{-1}) e $ETC_{f,c}$ é a evapotranspiração máxima do cultivo c na fase f .

Deste modo, assume-se que a produtividade é consequência do acúmulo de matéria (seja fresca ou seca) que, por sua vez, é quantitativamente relacionado à absorção de água e assimilação de dióxido de carbono pelo processo da fotossíntese. Sendo assim, a evapotranspiração real (ETr) está fortemente relacionada à produtividade, porque todos os processos que afetam a fotossíntese também afetam a transpiração. Sendo assim, para a cultura de feijão, por exemplo (planta C3 e, portanto, menos eficiente no uso de água em ambientes tropicais, devido à fotorrespiração), verificou-se empiricamente que quando a relação ETr/ETc é inferior a um valor crítico (valor crítico de ETr/ETc assumido como 0,7 para o feijão, por exemplo), a produtividade decresce abruptamente. Sendo assim, adotou-se esse valor (0,7) como limite superior da classe de alta necessidade de irrigação para a cultura de feijão. Para subdivisão em 3 classes, adotou-se o ponto mediano (0,85 aproximado para 0,9) como limite superior da classe de média necessidade de irrigação para a cultura de feijão e 1,0 como limite superior da classe de baixa necessidade de irrigação para a cultura de feijão. Para as demais culturas procedeu-se do mesmo modo e os valores críticos de ETr/ETc, obtidos junto a FAO/FAOSTAT (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2000; 2001ab), estão apresentados na Tabela 6.

O procedimento analítico para processamento do balanço hídrico climatológico e definição da necessidade de irrigação foi implementado em software desenvolvido especificamente (AIBHCC v2.0) em linguagem Fortran 2003. As informações geradas foram usadas para os cálculos da área irrigável.

Tabela 5. Valores críticos (Ac) de ETr/ETc para as culturas selecionadas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2000; 2001).

Cultura	Ac	Cultura	Ac
Milho	0,6	Soja	0,65
Feijão	0,7	Cana-de-açúcar	0,6
Arroz	0,8		

13.6.2 Área irrigável

A estimativa de área irrigável é feita com base em informações da ANA sobre disponibilidade hídrica superficial e uso consuntivo da água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2014), combinadas a uma estimativa de demanda hídrica por unidade de área de cultura irrigada para as cinco culturas desse estudo. É importante ressaltar que esse cálculo não leva em consideração a qualidade das terras nem a qualidade de

infraestrutura, portanto, deve ser interpretado como um potencial teórico máximo que poderia ser implantado no Brasil em condições ideais de solo e infraestrutura.

A metodologia para a definição da variável área irrigável (AI) foi baseada na estimativa do potencial relativo de suporte de agricultura irrigada por microbacia hidrográfica. No caso desse estudo, adotou-se as Ottobacias nível 12 da ANA, que recobrem toda a área nacional. Para isso foi adotado o cálculo da vazão unitária ou vazão de projeto (Qu_c , $m^3 s^{-1} ha^{-1}$) por unidade de área (1 ha) da cultura c .

A vazão unitária ($m^3.s^{-1}.ha^{-1}$) se refere à vazão requerida, em $m^3.s^{-1}$, por unidade de área (ha), calculada pela relação entre a vazão de projeto e a área irrigável, a qual pode ser estimada pela relação entre a evapotranspiração potencial da cultura (máxima evapotranspiração potencial da cultura, na escala diária, durante o ciclo da cultura, que normalmente ocorre no período de florescimento) e o tempo de irrigação. Para o cálculo da vazão unitária ou vazão de projeto (Qu_c , $m^3 s^{-1} ha^{-1}$) por unidade de área (1 ha) da cultura c , tem-se que:

$$\frac{m^3}{s.ha} = \frac{\frac{mm}{d} \cdot 1d \cdot \frac{1L}{m^2.mm} \cdot \frac{10^4 m^2}{ha} \cdot \frac{m^3}{10^3 L}}{\frac{h}{d} \cdot \frac{3600s}{h}} \quad (4)$$

Em que ET_o se refere à evapotranspiração de referência ($mm.d^{-1}$), Kc_c ao coeficiente da cultura c e t ao tempo de irrigação ($h.d^{-1}$). Utilizou-se o critério de se adotar o tempo de irrigação de 20 horas (desconsiderando 3 horas de pico por dia mais uma hora de segurança), assim como no estudo de Sparovek *et al.* (2014), para calcular a potência requerida mínima devido à adoção do sistema de irrigação. Sendo assim:

$$Qu_c = \frac{ET_o \cdot Kc_c}{360 \cdot t} \quad (5)$$

Para o cálculo da área irrigável (ha) na região R , utilizando a cultura indicadora c , tem-se que:

$$Ai_c = \frac{Qd}{Qu_c} \quad (6)$$

Em que Qd se refere à vazão disponível ($m^3.s^{-1}$). Entende-se por vazão disponível à fração da vazão mínima de referência (seja $Q_{7,10}$; Q_{90} ou Q_{95}). No caso da ANA, outorga-se 70% da Q_{95} e como informação inicial de cálculo da disponibilidade hídrica superficial (Qd) foi utilizada a vazão incremental de estiagem (vazão com permanência de 95%), para os trechos não regularizados, somada à vazão regularizada pelo sistema de reservatórios com 100% de garantia. Em rios sem regularização, portanto, a disponibilidade é considerada como apenas a vazão de estiagem com permanência de 95%. Esta foi calculada a partir das séries de vazões naturais (regiões Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná) e das estações fluviométricas existentes (demais regiões). Como medida conservadora, considerando que o uso dessas informações na formulação de políticas públicas devem ser assertivas e minimizar riscos, adotou-se para efeito dos cálculos, assim como adotado por Sparovek *et al.* (2014), 50% da vazão disponível (Qd).

$$Qd = [(Q_{95} \cdot f_{Q_{95}}) - Q_m] \cdot f_u \quad (7)$$

em que Q_{95} é a vazão (de estiagem) com permanência de 95% (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2014), $f_{Q_{95}}$ a fração de utilização da Q_{95} , assumido como 0,7, Q_m a demanda hídrica total por Ottobacia (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2014), e $f_u = \frac{0,5}{f_{Q_{95}}}$

O cálculo de vazão disponível (Q_d) pressupõe que será utilizado para irrigação no máximo 50% da Q_{95} , o que acontece quando Q_m é igual a zero.

Para o cálculo da vazão necessária (Q_c , $m^3 s^{-1}$) na região R, utilizando a cultura indicadora c, tem-se que:

$$Q_c = Q_{u_c} \cdot \frac{f \cdot A}{10000} \quad (8)$$

em que Q_c é usada para calcular a vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$) necessária para irrigar a área A (ha), A se refere à área (m^2) da região R; e f à fração da área disponível à irrigação, calculado por geoprocessamento integrado das informações de uso da terra e legislação ambiental e descontada a área já irrigada segundo dados da Agência Nacional de Águas para o ano de 2012.

A fração (f) da área irrigável se refere a uma estimativa de área disponível na microbacia para implantação de atividades agropecuárias. Nessa estimativa são excluídas as áreas protegidas públicas (Unidades de Conservação, Terras Indígenas) ou privadas (áreas ripárias de preservação permanente, -o processamento de APP ripária disponível utilizou a rede hidrográfica ao milionésimo e na escala 1:250.000 quando disponível -, Reserva Legal com vegetação natural), além das áreas de uso urbano e áreas ocupadas por espelhos d'água. Como última operação subtraiu-se também a área já ocupada com agricultura irrigada segundo estimativa da ANA para o ano de 2012 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2018). Nesse caso foram mantidas as mesmas bases de dados utilizadas por Sparovek *et al.* (2014) para que os resultados fossem comparáveis.

Pensando em gerar uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos foram processados dois cenários a partir da informação gerada, um mais restritivo e outro menos restritivo, proporcionando ao final uma banda de área mínima e máxima de área irrigável (AI), podendo ser considerado um avanço em relação ao primeiro estudo desenvolvido por Sparovek *et al.* (2014).

O procedimento analítico para o processamento da definição da necessidade de irrigação envolvendo a combinação de 5 culturas x 2 sistemas x 4 principais datas de semeadura (40 cenários) para cada unidade de análise (Ottobacia) foi implementado em software desenvolvido especificamente (AIBHCC v2.0) em linguagem Fortran 2003 e ajustado para gerar os dois cenários desejados (o maior e menor AI).

O cenário mais restritivo assumiu o resultado de menor AI dentre todos os casos simulados para cada Ottobacia e o cenário menos restritivo assumiu o resultado de maior AI. Dessa forma, em ambas as situações, o resultado final obtido é um mosaico de culturas, sistemas e datas de semeadura para todo o Brasil. É importante ressaltar que o objetivo é alcançar uma estimativa teórica de potencial irrigável máximo e mínimo e não fazer qualquer procedimento de alocação de culturas e sistemas de irrigação, que, nesse caso, dependeria de metodologia específica que simula a dinâmica de uso da terra considerando fatores ambientais e socioeconômicos.

O conhecimento de um intervalo entre o potencial máximo e mínimo de expansão da agricultura irrigada, embora teórico e não dispondo de procedimento alocativo, é demanda prática para decisão estratégica visando orientar, dentre outras ações, o planejamento e a implementação da Política Nacional de Irrigação (PNI), em consonância com os Planos de Recursos Hídricos (PRH), como previsto na Lei Federal 12.787 de 11 de janeiro de 2013, segundo a qual os planos nacional e estaduais de irrigação, em consonância com os Planos de Recursos Hídricos, devem abranger (Art. 6º):

I - Diagnóstico das áreas com aptidão para agricultura irrigada, em especial quanto à capacidade de uso dos solos e à disponibilidade de recursos hídricos,

II - Hierarquização de regiões ou bacias hidrográficas prioritárias para a implantação de projetos públicos de agricultura irrigada, com base no potencial produtivo, em indicadores socioeconômicos e no risco climático para a agricultura, III - levantamento da infraestrutura de suporte à agricultura irrigada, em especial quanto à disponibilidade de energia elétrica, sistema de escoamento e transportes, IV - Indicação das culturas e dos sistemas de produção, dos métodos de irrigação e drenagem a serem empregados e dos arranjos produtivos recomendados para cada região ou bacia hidrográfica.

Nesse sentido, as bases de dados construídas e o procedimento aqui desenvolvido permitem atender os três primeiros pontos acima listados para planejamento geral estratégico dos planos de irrigação que, em etapas posteriores, devem passar por detalhamentos locais baseado em pesquisa de campo e metodologias adaptadas para implementação do plano geral na escala local (quarto ponto).

13.7 Necessidade de irrigação: principal mês de semeadura para as culturas de interesse em nível municipal

O principal mês de semeadura para cada cultura por município (mês em que houve maior ocorrência de números de estabelecimentos plantando a determinada cultura), diferenciadas em irrigado e sequeiro, são apresentadas em mapas para facilitar a visualização dos dados. As cores no mapa representam os meses do ano em uma escala gradual que vai verde (janeiro) ao vermelho (dezembro).

Os dados obtidos para milho sequeiro e irrigado são apresentados na Figura 3. Para o milho sequeiro a maioria dos municípios da região Norte e Nordeste apresentam a semeadura no primeiro semestre do ano, com predomínio para os primeiros meses do ano. Já nas demais regiões ocorre o predomínio da semeadura no segundo semestre do ano, com exceção dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e alguns municípios da região Centro-Oeste. Nesta última provavelmente esses são plantios de milho safrinha (alternados com a cultura da soja).

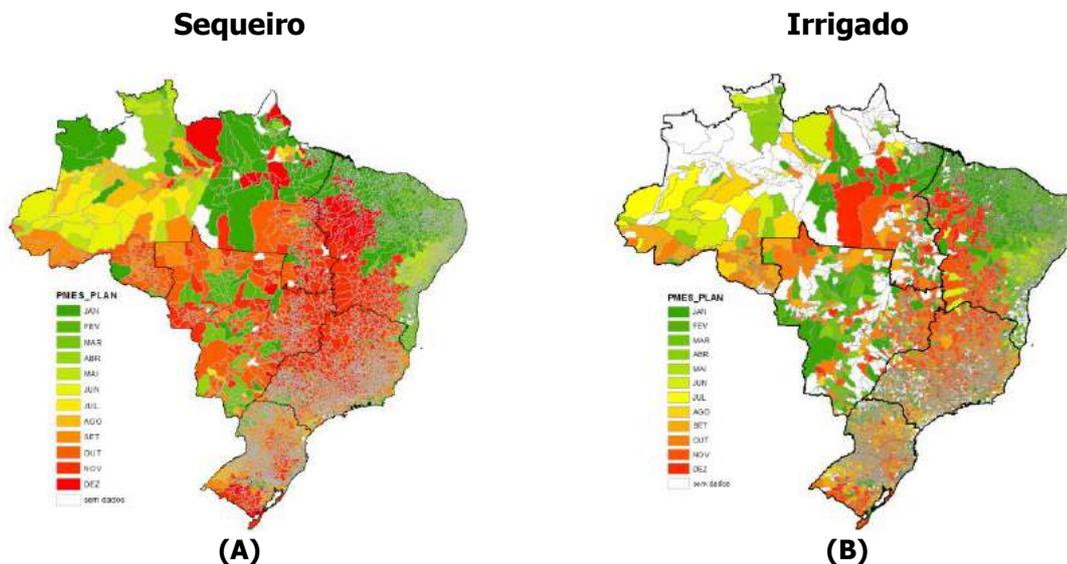


Figura 3. Principal mês de semeadura da cultura de milho, sequeiro (A) e irrigado (B), no Brasil em nível municipal.

O padrão geral observado de época de semeadura para a cultura do feijão se assemelha ao padrão do no milho tanto para sistema de sequeiro como irrigado (Figura 4). Isto é, predomina a semeadura de sequeiro no primeiro semestre no Norte e Nordeste e no segundo semestre no Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país. Entretanto, como a cultura do feijão tem ciclo curto, observa-se que no sistema irrigado dá-se preferência em quase todo o

país da utilização do segundo trimestre do ano para a sua semeadura, de modo a aproveitar a oportunidade de alocar uma safra de inverno entre maio e agosto.

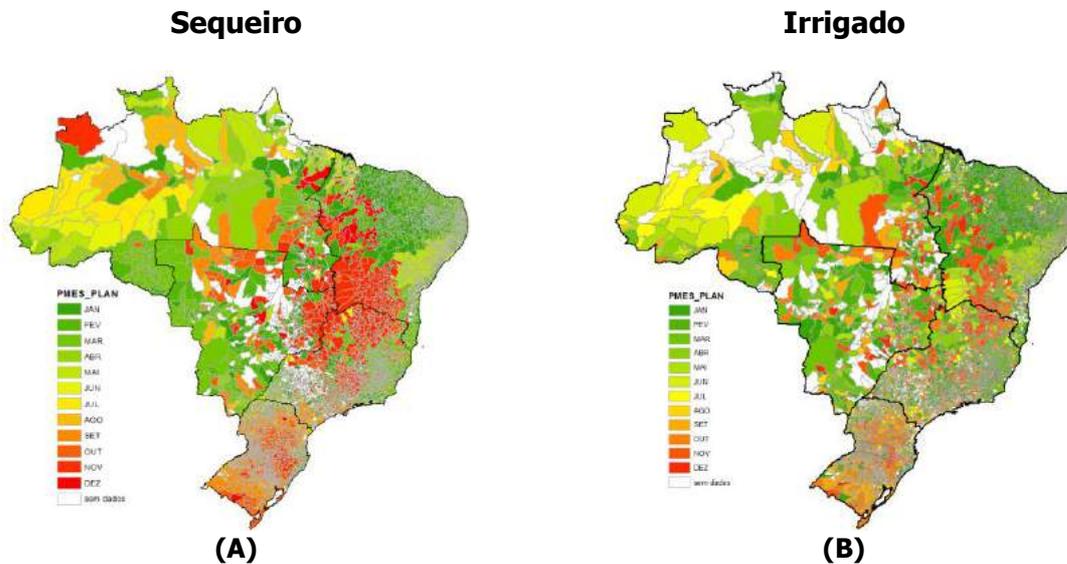


Figura 4. Principal mês de semeadura da cultura de feijão, sequeiro (A) e irrigado (B), no Brasil em nível municipal.

Na cultura de arroz (Figura 5) observa-se a semeadura de sequeiro no segundo semestre em quase todos os municípios, com exceção de poucos municípios no Nordeste e Norte do país. A semeadura nas lavouras sob irrigação, por sua vez, tem um padrão de maior concentração geográfica em poucos municípios, corroborando uma concentração da maior produção em poucos polos regionais. Salienta-se nesse sentido o sul do Rio Grande do Sul nos sistemas de irrigação por inundação, bem como o oeste do Tocantins nos municípios do Vale do Araguaia, que são os dois principais polos de produção de arroz irrigado do país.

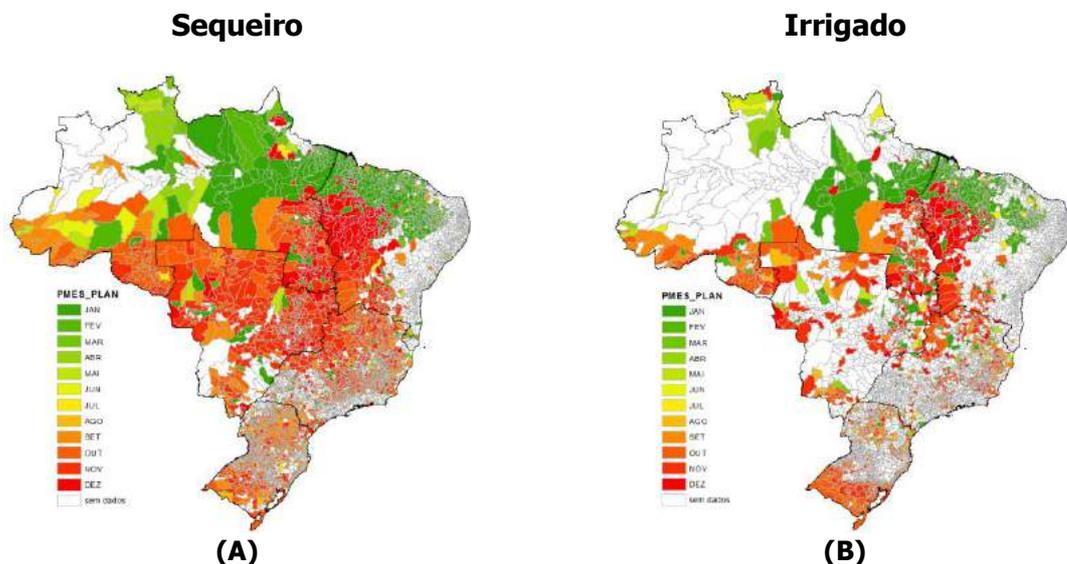


Figura 5. Principal mês de semeadura da cultura de arroz, sequeiro (A) e irrigado (B), no Brasil em nível municipal.

Na cultura de soja (Figura 6), observa-se que a semeadura está concentrada nas regiões Centro-Oeste e Sul do país, além de poucos municípios do Sudeste, Norte e Nordeste. A concentração geográfica da cultura acarreta uma maior homogeneização nas datas de semeadura, prevalecendo o segundo semestre (início de verão e estação chuvosa no centro

do país) para soja irrigada e, para a soja de sequeiro, o final do verão em um aproveitamento de oportunidades de segunda safra.

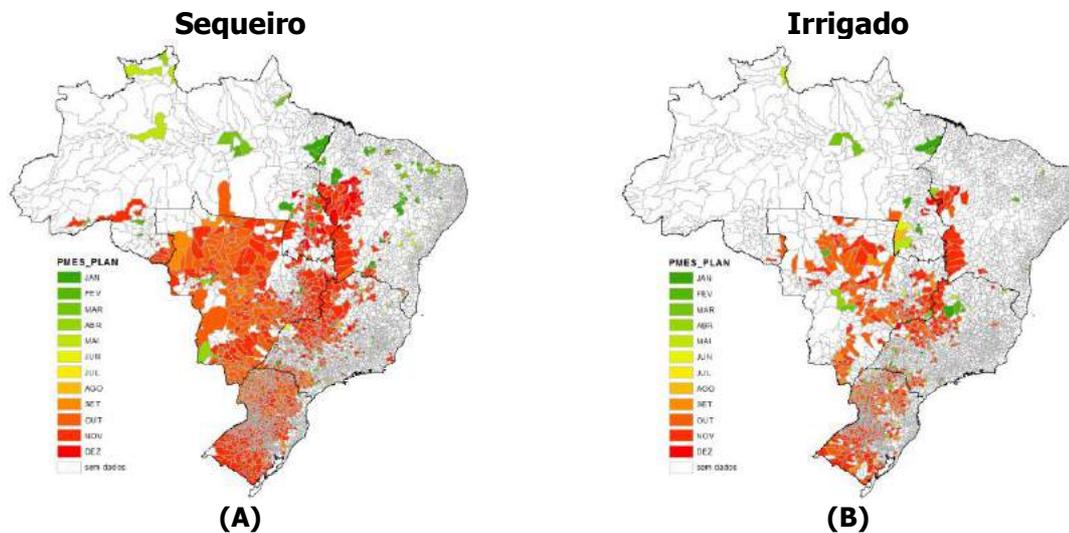


Figura 6. Principal mês de semeadura da cultura da soja, sequeiro (A) e irrigado (B) no Brasil em nível municipal.

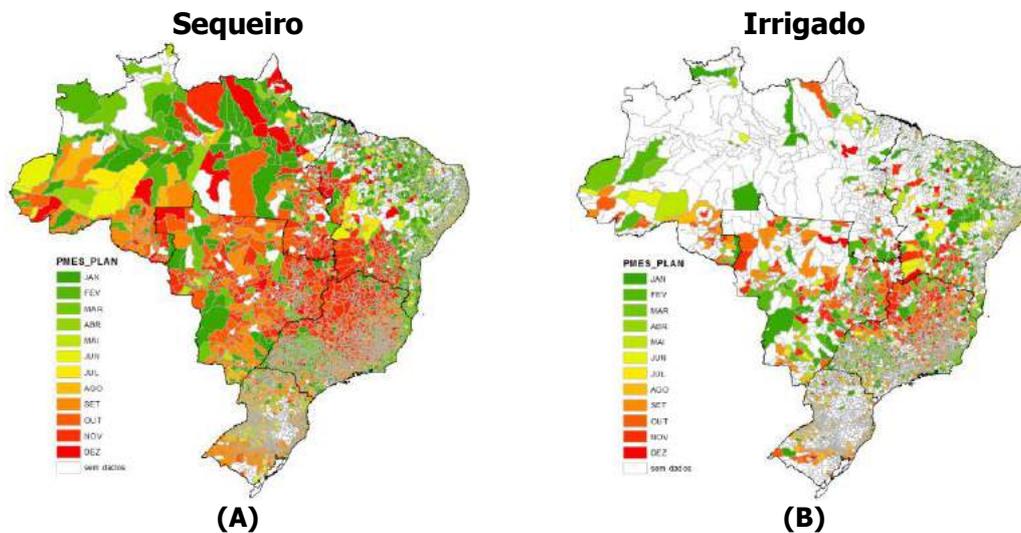


Figura 7. Principal mês de plantio da cultura de cana-de-açúcar, sequeiro (A) e irrigado (B) em nível municipal.

A cultura da cana-de-açúcar apresenta intensa concentração geográfica de plantio nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (oeste do estado de São Paulo, triângulo mineiro, sudoeste goiano e leste do Mato Grosso do Sul), além de uma estreita faixa na zona da mata nordestina. Tal distribuição acarreta também uma padronização nas datas de plantio. Entretanto, o ciclo semiperene da cultura e os diferentes sistemas de plantio ("plantio de ano", "plantio de ano e meio" e "condução de soqueira") apontam uma função de irrigação também bastante variável que pode ser de aproveitamento de vinhaça, irrigação de implantação, irrigação de salvamento de estiagens prolongadas, entre outras funções. Nesse sentido, a fixação de datas preferenciais de utilização de irrigação na cultura da cana-de-açúcar sofre influência da estratégia de mercado das usinas, padrão climático do ano agrícola e estratégia de manejo de longo prazo da cultura. A análise dos dados do Censo Agropecuário de 2006 indicam, portanto,

uma situação referente ao ano em questão, que pode variar no tempo. Segundo essa análise, o plantio irrigado se concentra em quase todas as regiões relevantes no final do verão e na cultura de sequeiro predomina o plantio “de ano”, alocado no segundo semestre, bem como o plantio “de ano e meio” no oeste de São Paulo, alocado no primeiro semestre (Figura 7).

13.8 Área irrigável

O processamento do modelo selecionou para cada local um cenário de maior e menor restrição.

Como pode ser visto na Figura 8B, que ilustra a área irrigável calculada no cenário de maior restrição hídrica, e na Figura 8A, de menor restrição hídrica, em quase todo o país o balanço quantitativo entre disponibilidade e uso de água superficial apontam para potencial de expandir a irrigação acima dos níveis de 100 ha por microbacia hidrográfica (tons verdes e azuis nos mapas). Entretanto, justamente nas áreas de maior necessidade de irrigação coincidente com clima semiárido e importantes áreas de agricultura irrigada como o sul do Rio Grande do Sul, os resultados nos dois cenários indicam indisponibilidade hídrica para expansão da irrigação, sugerindo a necessidade de investimento em estruturas de reservação de água, bem como monitoramento e regulação da retirada para não comprometer outros usos de água precedentes em importância em relação à irrigação.

Do ponto de vista quantitativo, o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil varia, segundo a abordagem proposta neste trabalho, de 68Mha a 85Mha. Esse resultado está alinhado ao previamente calculado em Sparovek *et al.* (2014), que estimou um potencial de 75Mha de área adicional irrigável. Considerando que a agricultura irrigada abrange hoje uma área de aproximadamente 7Mha, o potencial calculado implicaria em uma capacidade de decuplicar da área irrigada no país para agricultura e pecuária. Evidentemente, nessa estimativa não estão consideradas variáveis de infraestrutura e socioeconômicas e portanto, o potencial realizável de expansão da irrigação está muito aquém do intervalo aqui estimado. De acordo com o Atlas Irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017), aplicando-se à estimativa potencial de Sparovek *et al.* (2014), restrições de aptidão das terras e qualidade logística (existência de escoamento da produção e de energia elétrica), o potencial efetivo atingiria no máximo 11,2 Mha, dos quais apenas 3,1 Mha seriam realizáveis no horizonte de 2030 diante da capacidade de investimento e demanda por produtos.

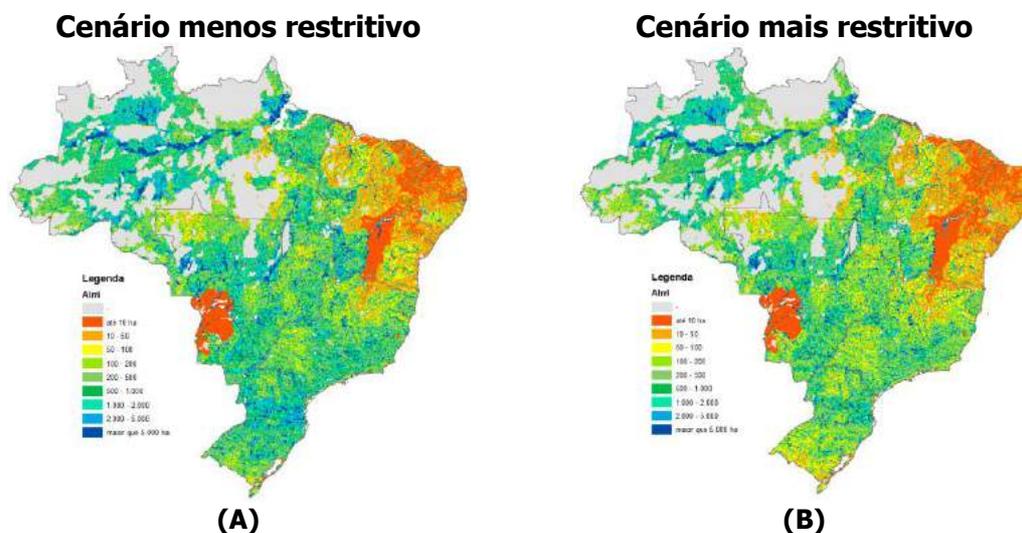


Figura 8. Área irrigável no cenário (A) menos e (B) mais restritivo.

Entende-se que o descolamento entre estimativas potenciais como a que foi desenvolvida neste trabalho e o potencial de expansão realizável é previsível. O investimento em melhorar e refinar a estimativa do potencial é passo fundamental para também aperfeiçoar a estimativa do potencial realizável porque ambas estão interconectadas. Nesse sentido, os resultados obtidos são um passo que pode contribuir para o planejamento da expansão da agricultura irrigada no Brasil e na orientação de políticas públicas correlatas ao tema.

Tabela 6. Área irrigável para os cenários mais e menos restritivo.

Região / UF	Menos restritiva		Mais restritiva		Área total
	Média de INI	AI	Média de INI	AI	
CENTRO-OESTE	0,8707	22.003.614,43	0,9853	18.467.022,67	160.691.862,15
Distrito-Federal	0,6845	74.762,58	0,9689	55.515,88	593.208,70
Goiás	0,7489	6.234.681,50	0,9679	5.081.839,01	34.017.020,00
Mato Grosso	0,9073	10.592.416,69	0,9914	9.201.341,59	90.425.530,66
Mato Grosso do Sul	0,9143	5.101.753,66	0,9885	4.128.326,19	35.656.102,79
NORDESTE	0,8242	9.647.160,00	0,8902	7.840.114,01	154.742.170,07
Alagoas	0,8049	165.103,73	0,7105	103.829,64	2.792.057,69
Bahia	0,6446	4.163.734,01	0,8348	3.227.950,82	56.379.725,24
Ceará	0,9563	545.967,77	0,9379	502.373,28	14.809.440,23
Maranhão	0,9395	2.235.767,56	1,0000	1.917.258,72	32.676.064,03
Paraíba	0,9223	195.075,47	0,8130	181.487,61	5.632.519,10
Pernambuco	0,9224	386.722,98	0,8281	339.969,70	9.831.126,90
Piauí	0,7656	1.734.655,23	0,9873	1.401.940,22	25.142.605,79
Rio Grande do Norte	0,8411	110.950,36	0,7645	98.262,49	5.297.216,99
Sergipe	0,9713	109.182,89	0,6626	67.041,53	2.181.414,10
NORTE	0,9676	26.986.918,32	0,9807	22.947.351,17	382.010.057,34
Acre	0,9985	865.344,86	1,0000	674.133,79	16.417.919,88
Amapá	1,0000	751.031,36	1,0000	697.618,45	14.082.922,60
Amazonas	0,9889	12.784.064,55	0,9949	10.350.086,26	155.851.232,93
Pará	0,9512	5.702.735,40	0,9871	5.090.350,97	121.840.376,81
Rondônia	0,9427	1.794.266,43	0,9632	1.511.179,97	23.688.720,79
Roraima	0,9190	2.126.472,10	0,8746	1.890.293,95	22.372.660,41
Tocantins	0,9477	2.963.003,62	0,9836	2.733.687,78	27.756.223,92
SUDESTE	0,7438	15.045.344,22	0,9366	11.995.590,24	92.311.484,53
Espirito Santo	0,8901	660.284,63	0,9569	479.039,18	4.591.732,01
Minas Gerais	0,6464	8.940.954,00	0,9117	7.240.986,66	58.699.688,32
Rio de Janeiro	0,9363	729.152,48	0,9574	581.767,96	4.295.131,60
São Paulo	0,8926	4.714.953,11	0,9819	3.693.796,44	24.724.932,60
SUL	0,9949	11.342.389,50	0,9950	6.960.971,13	56.368.598,46
Paraná	0,9973	4.198.538,38	0,9995	2.719.772,10	19.749.055,29
Rio Grande do Sul	0,9935	4.880.203,17	0,9913	2.832.387,09	27.138.522,75
Santa Catarina	0,9952	2.263.647,95	0,9997	1.408.811,94	9.481.020,42
Total Geral	0,8940	85.025.426,47	0,9586	68.211.049,22	846.124.172,55

13.9 Considerações finais

Os modelos base sobre área irrigável (adicional) desenvolvidos por Sparovek *et al.* (2014) na análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada puderam ser aprimorados. Um dos principais aprimoramentos foi o aumento do número de culturas considerados, sendo proposto um modelo robusto para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos a partir de dois cenários, um mais restritivo e outro menos restritivo, proporcionando ao final uma banda de área mínima e máxima de área irrigável (AI). Os resultados mostraram que há entre 68 e 75 Mha de área com potencial para expansão da irrigação, ou seja, é possível decuplicar a área irrigada no Brasil que atualmente é da ordem de 7 Mha.

Com este trabalho ficou demonstrado o grande potencial da ciência de dados na orientação de políticas públicas voltadas à agricultura irrigada através da versatilidade de combinações de uso de ferramentas de análise territorial multicriterial. A metodologia desenvolvida baseada na combinação de variáveis foi capaz de explicitar representações simplificadas e agregadas de diferentes temas, facilitando a interpretação aplicada uma vez que a grande quantidade de componentes envolvidos e escalas de ocorrência trazem muita complexidade para a representação da realidade.

O uso de tecnologia computacional de alta performance nos trabalhos de análise territorial que adotam modelagens complexas em escala nacional são essenciais, visto que os processamentos podem levar semanas para serem concluídos.

A conversão de variáveis sintéticas complexas individualmente a partir de uma macroestrutura de organização, baseada na sua dimensão espacial explícita, tendo a territorialidade como elemento comum a todas essas dimensões e possibilitando seu tratamento conjunto, é uma ferramenta poderosa para a estruturação de elementos fundamentais para o planejamento e tomada de decisão pelos gestores em políticas públicas.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2013. Brasília. 2014, 432p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf. Acesso em: 31 out. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 85p., 2017. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 31 out. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2014. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html. Acesso em: 31 out. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Dados abertos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2012. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil**: 2. Ed. Brasília: ANA. EMBRAPA, 47p., 2019. Disponível em: https://www.ana.gov.br/noticias/ana-e-embrapa-identificam-forte-tendencia-de-crescimento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-brasil/ana_levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais_2019.pdf. Acesso em: 28 jul. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **CSEI apresenta atualização da área irrigada no Brasil**, ABIMAQ. 2019. Disponível em:

<http://abimaq.org.br/site.aspx/Abimaq-Informativo-Mensal-Infomaq?DetalheClipping=86&CodigoClipping=1831>. Acesso em: 12 jun. 2019.

ASSUNÇÃO, A.L.C. **Avaliação da disponibilidade de energia elétrica para expansão da área irrigada no Brasil**. 2018. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03052018-103142/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

BORGHETTI, J.R.; SILVA, W.L.C.; NOCKO, H.R.; LOYOLA, L.N.; CHIANCA, G.K. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias**. Agência Nacional de Águas - ANA: Brasília, 243p., 2017.

BRANDÃO, C. Territórios como classes sociais, conflitos, decisão e poder. In: ORTEGA, A.C.; ALMEIDA FILHO, N. (Org.) **Desenvolvimento territorial: segurança alimentar e economia solidária**. Campinas: Alinea, 2007.

BRASIL. Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 jan. 2013.

CHRISTOFIDIS, D. Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos. In: THEODORO, S.H. (Org.) **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. Rio de Janeiro: Ed. Garamond. 2002.

FERRAZ, C.A.M.; BERBERIAN, C.F.Q.; FILHO, N.D.; VIEIRA, R.T.; NÓBREGA, R.A.A. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU**, n.133, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Crop information - Maize FAOSTAT**. 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Crop information - Soyabean FAOSTAT**. 2001a. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Crop information – Sugarcane FAOSTAT**. 2001b. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk**. New York, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 31 out. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Information System on Water and Agriculture - AQUASTAT**. FAO. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acesso em: 15 dez. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The state of food security and nutrition in the world**. FAO. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2006. In: **Sidra**: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/Tabela/listabl.asp?c=861&z=p&o=2&i=P>. Acesso em: 11 mar. 2018.

JANUZZI, P.M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D.S.G. Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações. **Informática Pública**, v.11, n.1, p.69-87, 2009.

MAULE, R.F. **Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada**: aplicação em políticas públicas. 2020. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2020.

MARIN, F.R.; PILAU, G.P.; SPOLADOR, H.F.S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C.G.S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v.25, n.3, p.108-124, 2016.

MENDONÇA, P.V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., Madrid. **Anais...** Madri, p.271-282., 1958.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A irrigação no Brasil**: situação e diretrizes. Brasília: IICA, 2008. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/documents/10157/3672008/A+irrigacao+no+Brasil+-+diretrizes.pdf/b88c745b-f5b3-4f3d-b375-483033a2e80c>. Acesso em: 5 set. 2015.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada**, 2014. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/publicacoes-senir>. Acesso em: 05 set. 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population set to grow another 2.2 billion by 2050**: UN survey. 2018. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2018/10/1023371>. Acesso em: 25 jul. 2019.

SAATH, K.C.O.; FACHINELLO, A.L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.56, p.195-212. 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032018000200195. Acesso em: 7 dez. 2018.

SILVA, S.P. A abordagem territorial no planejamento de políticas públicas e os desafios para uma nova relação entre Estado e sociedade no Brasil. **Revista Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, v.17, n.60, 2011.

SPAROVEK, G.; DOURADO NETO, D.; BARRETTO, A.G.O.P.; MAULE, R.; ASSUNÇÃO, A.L.C. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Brasília: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Ministério da Integração Nacional. 2014. Disponível em: <http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/02/FEALQ-An%C3%A1lise>. Acesso em: 18 mar. 2021.

SPAROVEK, G.; FREITAS, F.L.M.; MAULE, R.F.; PAGANINI, S.M. **Análise territorial e políticas para o desenvolvimento agrário**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário - NEAD estudos. 2013. Disponível em: http://www.reformaagrariaemdados.org.br/sites/default/files/pageflip-4204229-487363-lt_Analise_territorial_e_-5306656.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, n. 50, p.20260-20264, 2011. Disponível em: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1116437108>. Acesso em: 18 mar. 2021.

VAN ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. **Field Crops Research**, v.143, p.4-17, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>. Acesso em: 28 ago. 2019.

CAPÍTULO 14

14 ANÁLISE TERRITORIAL DA CONECTIVIDADE NO MEIO RURAL VISANDO A AUTOMAÇÃO REMOTA DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Durval Dourado Neto, Rodrigo Fernando Maule, Klaus Reichardt, Arthur Nicolaus Fendrich, Marcela Almeida de Araujo e Simone Beatriz Lima Ranieri

Resumo

Variáveis como área adicional disponível para irrigação e cobertura de sinais telefonia (internet) no campo foram modelados no trabalho 'método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas' (MAULE, 2020). Os resultados mostraram que há entre 68 e 75 Mha de área com potencial para expansão da irrigação, entretanto, apenas 5% dos pivôs centrais hoje poderiam ser automatizados remotamente usando conectividade a partir de sinal excelente de telefonia celular móvel banda larga 4G.

14.1 Introdução

O presente trabalho tem por objetivo analisar o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil, propondo o aperfeiçoamento e desenvolvimento de modelos para gerar informação territorial suficientemente robusta e de abrangência nacional em relação à qualidade do espaço rural para desenvolvimento e expansão da agricultura irrigada. As variáveis foram desenvolvidas para compor a metodologia de classificação territorial para o estabelecimento de ações e diretrizes, dando suporte à elaboração de políticas públicas. Adicionalmente ao aperfeiçoamento das variáveis utilizadas por Sparovek *et al.* (2014), buscou-se o desenvolvimento de um modelo de análise territorial da cobertura de internet em banda larga (tecnologia 4G) aplicado em áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central, a fim de avaliar a possibilidade de automação remota. Posteriormente buscou-se integrar este novo modelo para demonstrar o dinamismo da ferramenta e seu potencial para a utilização por gestores públicos.

14.2 Análise territorial da conectividade no meio rural visando a automação remota de sistemas de irrigação de pivô central

Para realização de uma análise territorial da conectividade, visando a automação remota de sistemas de irrigação de pivô central, foi desenvolvido um modelo espacial que estime para o território brasileiro a disponibilidade e qualidade da internet no meio rural em áreas ocupadas com sistema de irrigação do tipo pivô central, em especial considerando a internet banda larga via telefonia de tecnologia 4G, para que a automação do sistema possa ser gerenciada remotamente de forma mais ampla e econômica, sem a necessidade de se buscar outras vias como a comunicação via cabo ou rádio.

Para o alcance deste objetivo, é necessário explicitar alguns conceitos ligados à internet e temas que dela emergem, vinculados à agricultura, passando pelas formas de comunicação (conectividade) que podem ser estabelecidas com esta rede, bem como o desenvolvimento de automatização remota para sistemas irrigados, os quais são apresentados a seguir.

14.2.1 Agro 4.0

Recentemente vem ocorrendo um grande movimento do setor agrícola mais tecnificado pelo uso de IoT (Internet das Coisas, em inglês, *Internet of Things*) nas diversas fases do processo produtivo, de armazenamento e de comercialização. Nesse caminho surge a chamada "Agricultura 4.0", que vem sendo alvo de pesquisas e desenvolvimento de *startups* do setor agrícola. A Agricultura 4.0 ou "Agro 4.0" é termo herdado da "Indústria 4.0", inovação que teve início na indústria automobilística alemã e atualmente é empregada em diversos segmentos da indústria, que consiste na completa automatização dos processos produtivos (VDMA VERLAG, 2016 *apud* MASSHUÁ; LEITE, 2017).

A Agro 4.0 insere-se na chamada Internet das Coisas (IoT) e já é uma realidade, com máquinas, veículos, eletrodomésticos, *smartphones*, computadores, residências e outras estruturas físicas se conectando à internet para informar sua situação, receber instruções e agir conforme as informações recebidas, o que vem causando uma verdadeira revolução na interação do ser humano com o mundo físico e, portanto, na organização da sociedade contemporânea (PARRONCHI, 2019).

Como padrão, considera-se Agricultura 1.0 aquela baseada em tração animal para preparo da lavoura; Agricultura 2.0 a que passa a utilizar maquinário agrícola com motor à combustão; Agricultura 3.0 a que se utiliza de sistemas guiados e agricultura de precisão, iniciada na década de 1980 na Europa e EUA, com o desenvolvimento de microcomputadores, sensores, *softwares*, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sistema de Informações Geográficas (GIS); e Agricultura 4.0 aquela baseada em conteúdo digital, que pressupõe fazendas inteiramente conectadas, interatividade em tempo real, utilização de sensores e automação quase que completa na propriedade.

Vista como caminho inevitável da agricultura, a Agro 4.0 viria com a promessa de uma grande mudança de paradigma da produção agrícola, uma vez que introduziria o elemento previsibilidade numa atividade que, diferentemente da indústria, sempre foi sujeita a intempéries climáticas e outros revezes como pragas e doenças, colocando-a historicamente em posição de desvantagem em relação a outras atividades econômicas no que diz respeito à formação de preços de produtos, formação de capital e alocação de fatores produtivos (PARRONCHI, 2019).

Na Agro 4.0, tecnologias como redes de sensores, comunicação máquina para máquina (M2M), conectividade entre dispositivos móveis, computação em nuvem, métodos e soluções analíticas para processar grandes volumes de dados (*bigdata*) e construção de sistemas de suporte à tomada de decisões em manejo das culturas, são empregadas com o objetivo de elevar os índices de produtividade, aumentar a eficiência do uso de insumos e defensivos agrícolas, reduzir custos com mão-de-obra e penosidade do trabalho, melhorar a segurança dos trabalhadores rurais, diminuir os impactos ao meio ambiente (MASSRUHÁ; LEITE, 2017), além de garantir maior qualidade no alimento que chega à mesa do consumidor.

Na era da Agro 4.0 a Tecnologia da Informação e da Comunicação (TIC) é a mola propulsora e integradora da inovação dentro e fora da cadeia produtiva, sendo utilizada em atividades como melhoramento genético e bioinformática, na pré-produção; na agricultura de precisão e funcionamento de equipamentos diversos, na produção; e nas melhorias na logística e transporte, na pós-produção.

A inserção do Brasil na era da Agro 4.0 tem sido foco de instituições de naturezas diversas. A Embrapa, por exemplo, vem desenvolvendo aplicativos para potencializar e fortalecer a Agro 4.0 com o intuito de integrar tecnologias, "produzindo conhecimento para que o Brasil continue a ser um protagonista da produção e exportação agropecuária" (MASSHUÁ; LEITE, 2017). Universidades também têm se dedicado ao desenvolvimento de tecnologias de automação para a execução de atividades agrícolas, como semeadura, plantio

e irrigação, enquanto empresas de máquinas e implementos agrícolas, de drones e sensores vêm oferecendo soluções para a automação no campo (AGRISHOW, 2018).

14.2.2 Conectividade no meio rural

O acesso à conexão de internet banda larga abre diversas possibilidades relacionadas ao desenvolvimento do meio rural, tais como inclusão social, otimização de processos produtivos, educação e informação, qualidade de vida, entretenimento, segurança e bem-estar, resultando em maiores e melhores oportunidades para a população rural, tanto em termos econômicos quanto sociais.

O termo “conectividade” utilizado neste estudo diz respeito à capacidade (de um computador, programa, equipamento, etc.) de operar em ambiente de rede, conectando-se e trocando dados (em maior ou menor velocidade, eficiência, etc.) através da ligação com a internet. A aplicação deste conceito ao meio rural busca explorar o potencial que o acesso a um grande volume de informações externas à rede geradora, tais como informações sobre nível de pragas, ocorrência de doenças de plantas, dados de operação de máquinas e implementos, informações de estações climáticas e meteorológicas e uma infinidade de dados que podem hoje ser disponibilizados para os produtores rurais, os quais podem ser processados em conjunto, abrindo novas perspectivas para que as operações ligadas a sistemas irrigados do tipo pivô central possam ser potencializados e ganhem em eficácia e eficiência.

Quanto maior o volume de dados e informações a circularem na rede, maior deve ser a qualidade da conexão, isto é, maior deve ser a capacidade de transmissão e recepção de grandes volumes de dados com velocidade. Esse processo provocou o surgimento da internet banda larga.

De acordo com Silva e Biondi (2012) atualmente o termo “banda larga” (*broadband*) é mundialmente utilizado, sendo referência para a caracterização de um serviço de acesso à internet através de tecnologias avançadas, mas não há um conceito universalmente aceito em sua totalidade. A velocidade tem sido o elemento mais comum para definir se uma conexão pode ou não ser considerada “banda larga”, uma vez que representa o fator mais facilmente percebido pelo usuário, na sua experiência prática ao acessar e utilizar a rede para atividades diversas, como visualizar todos os itens (textos, tabelas e imagens) de um *website*, enviar um *e-mail* ou baixar um arquivo *on-line*, expressando as limitações concretas de uso da rede em atividades do dia a dia.

A velocidade proporcionada pela conexão de banda larga se refere à capacidade de um serviço de conexão em enviar e receber os conteúdos digitais, numa dada unidade de tempo. A velocidade serve para caracterizar a banda larga ao usuário final, ainda que não haja um consenso sobre a velocidade mínima a ser considerada. Geralmente, as agências reguladoras, órgãos governamentais, organismos multilaterais e pesquisadores têm adotado valores acima de 200 kb s^{-1} , sendo 256 kbit s^{-1} (em pelo menos uma das direções) a linha de base mais comum comercializada como “banda larga” no mundo (SILVA; BIONDI, 2012). O Brasil ainda não tem uma regulamentação que indique qual é a velocidade mínima para uma conexão ser considerada de banda larga.

As formas de acesso à internet banda larga sem fio, de acordo com Silva e Biondi (2012) são: (i) internet via rádio: tecnologia que usa ondas de radiofrequência para emitir o sinal aos computadores, por intermédio de antena, ou seja, sem necessidade de instalação de cabeamento ou fios. Como se trata de ondas, o problema deste tipo de conexão são as interferências causadas por possíveis obstáculos físicos entre a torre de transmissão e a antena; (ii) internet via satélite: os satélites geoestacionários podem fornecer sinal sobre grandes áreas geográficas de cobertura, o que torna a tecnologia extremamente promissora

para conexões de usuários em áreas rurais ou remotas. A velocidade desse tipo de conexão é extremamente alta, porém, devido à enorme distância entre o emissor e o receptor, existe um atraso na comunicação, que torna inviável para a prática de atividades que envolvam respostas rápidas (como jogos *online* ou automação no campo, controle de máquinas agrícolas ou sistemas de irrigação em tempo real); e (iii) Conexão 3G e 4G: conexões para dispositivos móveis que permitem acessar a internet. São gerações de tecnologia, onde a 3G (terceira geração) possibilitou a entrada das operadoras de celular na prestação de serviço de banda larga. Hoje, no Brasil a conexão 4G é sinônimo da tecnologia LTE (*Long Term Evolution*), que partilha da mesma natureza básica do 3G, porém traz um expressivo aumento da velocidade de transmissão de dados, por ser mais integrada aos sistemas baseados no protocolo IP. A rede de antenas ERB (Estação Rádio Base ligadas umas às outras por uma rede *backhaul*) oferece uma grande cobertura nas áreas urbanas e onde existe demanda de conexão, inclusive em áreas rurais, pois atende até vários quilômetros de distância. Atualmente também a nova geração de tecnologia em banda larga (5G) já é realidade em países como Coreia do Sul e Estados Unidos, porém no Brasil encontra-se em fase de testes.

Como apontado anteriormente, a disponibilidade de conexão via internet de banda larga pode potencializar inovações tecnológicas no meio rural (Agro 4.0), viabilizando, por exemplo, a automação de sistemas irrigados. Assim, a expansão da área de cobertura de banda larga e a escolha por uma tecnologia adequada é fundamental para a ampliação das possibilidades do uso de tais inovações. A tecnologia 4G foi selecionada como objeto de estudo neste trabalho, uma vez que: (i) tem a vantagem de atender grandes áreas geográficas e áreas remotas com um custo relativamente baixo; (ii) permite o acesso e a transmissão de um grande volume de dados de fontes diversas com alta velocidade, sendo possível integrar informações essenciais para a tomada de decisão no campo, em tempo real, viabilizando a automação de diversos sistemas, como os de irrigação por pivô central.

14.2.3 Simulação de alcance de intensidade do sinal de telefonia móvel 4G

A Fórmula de Friis é bastante utilizada em estudos de engenharia de telecomunicações e relaciona a potência transmitida de uma antena para outra em determinadas condições ideais. No modelo de Friis (FRIIS, 1946), a potência recebida é função apenas da distância entre as antenas e a Fórmula a seguir fornece a relação matemática para o cálculo.

$$P_r = 10 \cdot \log \left(\frac{P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2}{10^{-3}} \right) [dBm] \quad (1)$$

em que P_r é a potência recebida, em dBm, P_t a potência transmitida, em W, G_t, G_r são os ganhos na transmissão e na recepção, λ o comprimento de onda, calculado como a razão entre a velocidade da luz no vácuo sobre a frequência de transmissão (m), e da distância geográfica entre o receptor e o transmissor (m).

Uma evolução desta modelagem, como apontado por Parsons (2000), está o modelo ITM, o qual é acrônimo das palavras *Irregular Terrain Model* e sua formulação é conhecida também como Longley-Rice, que inclui uma interpretação mais realista da influência do terreno na transmissão e propagação de ondas. Desta forma, o modelo ITM produz um cálculo bastante detalhado, que incorpora tanto a teoria eletromagnética quanto análises estatísticas para levar em consideração a irregularidade do terreno, a refratividade da superfície e a influência do clima no trajeto dos raios entre antenas. A Figura 1 apresenta algumas das quantidades consideradas no cálculo.

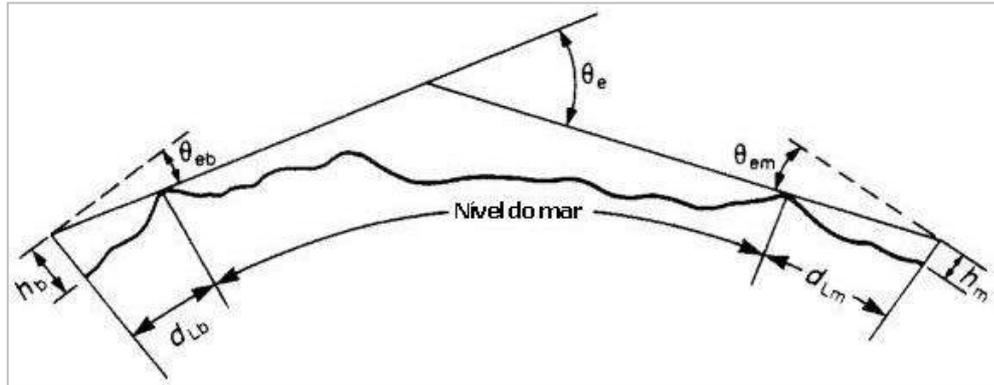


Figura 1. Decomposição de um trajeto hipotético entre transmissor e receptor pelo modelo ITM (PARSONS, 2000).

Além da maior acurácia proposta, sua faixa de aplicação varia de 20 a 20.000 MHz, sendo mais segura para a utilização das frequências acima de 2.000 MHz. Cabe ressaltar que o modelo ITM é calculado de maneira idêntica para áreas urbanas e rurais.

14.2.4 Automação em sistemas de irrigação de pivô central

Os métodos mais eficientes no uso da água, irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e a aspersão por pivô central, deverão ser responsáveis por cerca de 75% do crescimento da irrigação no Brasil na próxima década. A liderança da expansão deverá continuar sendo mantida pelos pivôs no horizonte do ano de 2030, com participação em torno de 40% do total de 3,14 Mha que até 2030 serão incorporados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2019).

O primeiro sistema irrigação por pivô central, inventado por Frank Zybach em meados de 1950 nos Estados Unidos, foi patenteado em 1952 e passou a ser utilizado em grande escala (TESTEZLAF, 2014).

O pivô central é um tipo mecanizado de sistema de irrigação por aspersão, um dos mais conhecidos no Brasil. Nesse sistema, os emissores ou sprays são implementados em estruturas metálicas que podem se mover ao longo da área a ser irrigada por meio do auxílio de um trator, ou de sistemas automatizados com movimento linear ou circular, com a operação elétrica ou com a utilização da pressão existente na tubulação (TESTEZLAF, 2017).

Apesar do considerável grau de tecnologia incorporado aos sistemas de pivô central, é importante ressaltar que em um cenário de limitações hídricas em algumas regiões ou até mesmo de energia elétrica, há a necessidade de discutir meios para um uso racional e mais proveitoso dos recursos existentes. De acordo com Nerys *et al.* (2007), um maior desperdício de energia elétrica e água pode ser gerado através de um crescimento desordenado ou até mesmo o emprego inapropriado do sistema de irrigação por pivô central, uma vez que esses sistemas fazem uso de motores de indução sem controle de velocidade; e com isso a contenção da vazão necessita da ação dos reguladores de pressão para que em cada ponto da região irrigada alcance o nível adequado de vazão.

Um desperdício de água e energia elétrica e ainda uma irrigação com carência no controle de umidade do solo podem ocorrer em decorrência a falta de controle de rotação do conjunto motor-bomba para que possa atender eficientemente cada situação de carga. Além disso, a determinação inadequada do momento exato da irrigação e da velocidade de deslocamento da linha lateral e baixa eficiência dos equipamentos instalados estão entre outros fatores de desperdício.

Tendo em vista as vantagens dos sistemas automatizados para a economia de energia e de água quando há necessidade de variação da vazão, a automação de controle de irrigação torna-se uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no devido tempo, o que contribui para a otimização da produção e redução dos custos produtivos (MORAES *et al.*, 2014; FERNANDES; TESTEZLAF, 2002).

Diversos trabalhos vêm desenvolvendo estudos sobre a aplicação dos sistemas de irrigação baseados em sensores, em especial, com o desenvolvimento de tecnologias sem fio (OKSANEN *et al.*, 2004; ZHANG, 2004; DURSON; OZDEN, 2011; MEDEIROS, 2018). Um sistema de controle de irrigação sem fio baseado em sensor é uma solução potencial para otimizar o rendimento e maximizar a eficiência do uso da água em regiões com variação na disponibilidade de água, seja devido a diferentes características do solo ou necessidades de água da lavoura. Com a adoção de uma rede de sensores é possível realizar o monitoramento em tempo real da quantidade de água presente no solo, determinando onde, quando e quanto irrigar, o que leva ao uso mais eficiente de recursos e reduz a necessidade de mão-de-obra para efetuar a irrigação (DURSON; OZDEN, 2011).

De acordo com Medeiros (2018), primeiramente é necessário conhecer os métodos utilizados para determinar a umidade do solo antes de definir qual sensor utilizar. Os métodos são geralmente classificados em: (i) diretos: em que uma amostra do solo é utilizada para quantificar a água nele presente; essa quantificação pode ser feita por meio da extração e determinação do volume de água contido na amostra (umidade volumétrica) ou pela umidade gravimétrica, que utiliza pesagens e relaciona a massa da água com a massa dos sólidos da amostra (ALTOÉ, 2012 *apud* MEDEIROS, 2018); e (ii) indiretos: em que a determinação da umidade é feita utilizando as propriedades físicas do solo tais como a capacitância, pressão, resistência elétrica, etc. Tais métodos possuem maior vantagem na construção de sensores de umidade, uma vez que não é necessário extrair amostras de terra para a análise e o sensor pode ser diretamente conectado ao solo da cultura. Entre os modelos mais utilizados estão: condutividade térmica, tensiômetro e blocos de resistência elétrica (MADALOSSO, 2014; MEDEIROS, 2018).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vem desenvolvendo um Sistema denominado "Saci", o qual se propõe a usar um sensor cerâmico de tensão de umidade do solo associado a componentes eletrônicos de automação sem fio, fonte de energia solar, rede elétrica ou bateria, de modo que a transmissão de dados poderá ser realizada por radiofrequência ou celular. Deste modo, o Saci tem por objetivo detectar uma faixa mais extensa de tensão crítica, ou seja, do limiar de umidade do solo a partir do qual há necessidade de irrigação, e apresentar leituras mais concisas, dado que não sofre influência de salinidade do solo nem de temperatura. Com isso, o sistema deve facilitar a irrigação automatizada ao não necessitar de calibrações e possibilitar como maior facilidade o armazenamento de dados sobre sistemas irrigados (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

No setor agropecuário brasileiro diversas iniciativas, em especial das universidades, têm se dedicado ao desenvolvimento de tecnologias de automação para a execução de atividades agrícolas, como semeadura, plantio e irrigação, enquanto empresas de máquinas e implementos agrícolas, de drones e sensores, vêm oferecendo soluções para a automação no campo.

A visão de que essa mudança de paradigma na produção agrícola e, conseqüentemente, no meio rural, é real, é compartilhada com grande entusiasmo pelas empresas de inovação tecnológica, que enxergam clara oportunidade de negócios, concentrados especialmente na fatia de grandes produtores rurais, principalmente voltados à produção de *commodities*, onde o ganho em escala de produção justifica, de forma mais evidente, a automação dos processos de produção, sendo um público mais ávido pela introdução de soluções tecnológicas desta natureza e pouco resistente a mudanças.

No que tange aos sistemas irrigados, a literatura aponta ganhos provenientes do uso da automação. Com o objetivo de reduzir o uso de água e energia em sistemas de irrigação por pivô central, Ribeiro *et al.* (2008) desenvolveram um protótipo de pivô central em escala reduzida com sistema de bombeamento acoplado ao inversor de frequência acionado manualmente e observaram que uma economia de energia elétrica da ordem de 26 % para inclinação máxima de 20% da linha lateral do pivô central pode ser alcançada. Nesta mesma perspectiva, ao testar dois distintos protocolos, Sudha *et al.* (2011) também observaram uma significativa redução no consumo de energia por um sistema de irrigação através do uso de comunicação sem fio, via *wireless*.

Além disso, em Moraes *et al.* (2014), utilizando um protótipo de pivô central construído em laboratório, verificaram uma redução dos gastos com energia elétrica entre 18% e 52% após a automação do sistema de irrigação, devido à melhoria do controle de velocidade do pivô frente a mudanças de pressão da água.

Neste sentido, no que se refere às oportunidades econômicas, a conectividade rural permite perceber o potencial da internet como ferramenta para gerar avanços de sistemas irrigados, especialmente sobre o uso de pivô central em regiões com maior potencial para expansão destes sistemas.

14.3 Análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação nas áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central com vistas à automação

O trabalho desenvolvido tem duas frentes: (i) desenvolvimento de modelo de análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para de áreas agrícolas irrigadas com tipo pivô central, com vistas à automação remota do sistema; e (ii) interação dos modelos de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas.

O modelo espacialmente explícito desenvolvido buscou estimar para todo o território nacional a disponibilidade e qualidade da internet em áreas ocupadas com sistema de irrigação do tipo pivô central. Neste caso específico foi avaliada a disponibilidade de internet em banda larga via telefonia (tecnologia 4G), para que a automação do sistema possa ser gerenciada remotamente de forma mais ampla e econômica, sem a necessidade de se buscar outras vias de conexão, como a comunicação via rádio.

Para a geração da informação de existência de sinal de internet via telefonia buscou-se aplicar modelos que retornam uma superfície (*raster*) da intensidade do sinal por meio da aplicação de modelos que recebem como entrada a localização das torres e parâmetros associados. Como estratégia de desenvolvimento do estudo, para garantir que houvesse pelo menos um conjunto de dados disponíveis, foram aplicados dois modelos, um mais simplificado e outro mais complexo, tanto do ponto de vista teórico quanto de necessidade computacional. Uma comparação dos resultados é apresentada, visando ilustrar as diferenças entre os modelos em relação à superfície da intensidade do sinal calculada.

O primeiro modelo é mais simplificado, mas é muito utilizado em abordagens iniciais de estudos de engenharia de telecomunicações. Denominado de Fórmula de Friis, o modelo desconsidera muitos fatores que podem afetar a intensidade do sinal (obstáculos do terreno).

O segundo modelo aplicado foi o *Longley-Rice*, também conhecido como Modelo de Terreno Irregular (ITM), que é mais complexo e capaz de identificar obstáculos na transmissão. Esse modelo requer um elevado poder computacional e para realizar seu processamento, a rotina foi implementada dentro do cluster Euler (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013). Como destacado por Silva e Catelli (2019), a partir dos anos 80 se identifica uma nova abordagem de modelo na ciência ligada ao uso dos

computadores nas simulações complexas, onde nesses novos métodos de modelagem ou modelização um sistema parece deixar de ser considerado como conjunto de elementos em interação para passar a ser visto como um conjunto complexo de elementos em interação, um "sistema complexo".

Dentre os dois modelos trabalhados, o mais complexo (*Longley-Rice*) foi selecionado para continuidade do estudo. As superfícies de intensidade de sinal geradas no seu processamento foram cruzadas com os 23.171 perímetros dos pivôs centrais existentes no banco de dados da Embrapa e disponibilizados por meio do sistema GeoNetwork da Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019b).

14.3.1 Dados de entrada do modelo: localização das torres e parâmetros associados

Para os dois modelos de disponibilidade e qualidade de internet (tecnologia 4G), o cálculo da intensidade do sinal em qualquer ponto do país utilizou como dado de entrada a localização espacial das antenas (latitude e longitude), em conjunto com suas respectivas informações: a frequência e a potência transmitida. As informações da localização espacial das antenas, bem como de frequência e potência transmitida, foram acessadas a partir do sítio eletrônico oficial de Licenciamento da Agência Nacional de Telecomunicações (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2018a).

Tabela 1. Dados da distribuição de antenas no Brasil. Agência Nacional de Telecomunicações (2018a).

Região	Número de antenas	Região	Número de antenas
Norte	4.949	Sul	13.362
Nordeste	15.884	Centro-Oeste	6.570
Sudeste	40.517		

A base de dados obtida possui 81.282 estações registradas e espalhadas em todo o território nacional (Tabela 1), conforme pode ser visualizado na Figura 2. Cada ponto vermelho transparente representa uma estação. O vermelho mais intenso representa maior concentração de antenas próximas.

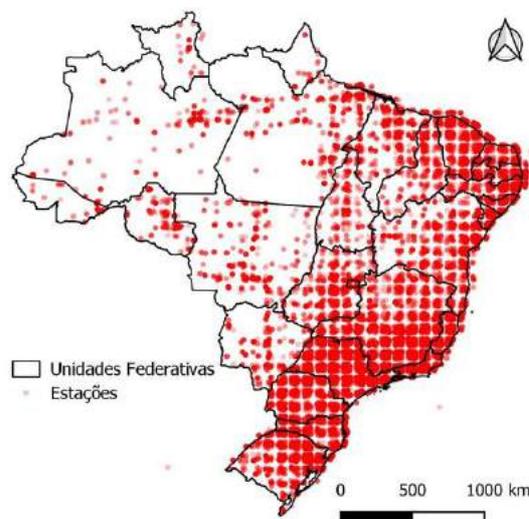


Figura 2. Distribuição espacial das 81.282 estações do Brasil. Adaptado de Agência Nacional de Telecomunicações (2018).

Esses dados foram processados para classificar as antenas quanto à tecnologia disponível de telefonia móvel (2G, 3G e 4G) a partir das faixas de frequência de operação, de acordo com a lista da Tabela 2. A frequência permite tanto atribuir para cada estação as respectivas tecnologias que ela é capaz de operar, quanto é usada para o cálculo do comprimento de onda, fator que influencia no cálculo da intensidade do sinal.

Tabela 2. Relação de cada tecnologia com as respectivas frequências (TELECO, 2019).

	Tecnologia								
	2G		3G					4G	
Frequências	869,0	955,0	869,0	955,0	1.827,5	1.865,0	1.890,0	763	2.585
	880,0	957,5	880,0	957,5	1.830,0	1.870,0	1.975,0	773	2.620
	890,0	1.805,0	890,0	1.805,0	1.832,0	1.872,5	2.110,0	783	2.630
	891,5	1.820,0	891,5	1.820,0	1.835,0	1.875,0	2.125,0	793	2.650
	943,5	1.835,0	943,5	1.822,5	1.850,0	1.877,5	2.135,0	2.570	2.660
	952,5	1.870,0	952,5	1.825,0	1.860,0	1.885,0	2.145,0		2.770
						2.155,0			

14.3.2 Modelos e metodologia de processamento

14.3.2.1 Modelo de Friis

No modelo de Friis (FRIIS, 1946) a potência recebida é função apenas da distância entre as antenas e a fórmula de Friis fornece a relação matemática para o cálculo.

Inicialmente foi feito o cálculo espacial da potência recebida de sinal a partir de um arquivo dividindo todo o território brasileiro em pixels de 30 por 30 metros. O seguinte algoritmo foi elaborado e aplicado para a tecnologia 4G:

Algoritmo 1 – Geração da superfície de sinal recebido

Para cada célula do território brasileiro:

- (i) Encontra a antena mais próxima,
- (ii) A partir das informações da antena encontrada, aplica a fórmula de Friis, e
- (iii) Atribui a potência recebida como igual à potência calculada.

A aplicação da fórmula de Friis, considera que a antena é isotrópica, isso é, que irradia as ondas de maneira idêntica em todas as dimensões. Dessa forma, o ganho da antena foi desconsiderado na fórmula usada para o cálculo. Embora seja uma relação relativamente simples, desconsiderando fatores como a diferença de altitude e a declividade no terreno, por exemplo, a fórmula de Friis apresenta a vantagem de ser válida para um amplo espectro de frequências e de não possuir restrições quanto à aplicação em diferentes meios (urbano ou rural).

14.3.2.2 Modelo Longley-Rice

A sigla do modelo ITM é acrônimo das palavras Irregular Terrain Model e sua formulação é conhecida também como Longley-Rice, que inclui uma interpretação mais realista da influência do terreno na transmissão e propagação de ondas. O modelo usa um cálculo bastante detalhado, que incorpora tanto a teoria eletromagnética quanto análises estatísticas para levar em consideração a irregularidade do terreno, a refratividade da superfície e a influência do clima no trajeto dos raios entre antenas (PARSONS, 2000).

Além da maior acurácia proposta, sua faixa de aplicação varia de 20 a 20.000 MHz, sendo mais segura para a utilização das frequências acima de 2.000 MHz, como é o caso da

tecnologia 4G. A implementação do modelo Longley-Rice utilizada no presente trabalho foi baseada no *software* Signal Server (FARRANT, 2019).

A formulação do modelo ITM é complexa e vai além do escopo da presente pesquisa. Uma descrição completa da metodologia pode ser encontrada em Hufford (1999).

14.3.2.3 Metodologia de processamento

Para a conversão do sinal recebido em classes mais facilmente interpretáveis (p.ex. Sem Sinal, Sinal Ruim etc.), um processo de reclassificação é necessário. Nesse sentido, é preferível a utilização de padrões de um celular comercial comum, que tende a refletir com mais precisão a situação real de recepção de sinal no campo. Embora a literatura científica seja escassa sobre o assunto, devido à grande variabilidade existente nos celulares comerciais, a reclassificação se pautou pelos padrões da Tabela , adotados como referência por uma empresa privada do setor (*Teltonika*) que foi consultada.

Tabela 3. Valores de referência para reclassificação da qualidade do sinal (TELTONIKA, 2018).

Tecnologia: 2G	Valores de referência (dBm)	Tecnologia: 3G	Valores de referência (dBm)	Tecnologia: 4G	Valores de referência (dBm)
Sem sinal	< -110	Sem sinal	< -110	Sem sinal	< -95
Ruim	-110 a -100	Ruim	-110 a -100	Ruim	-95 a -85
Médio	-100 a -85	Médio	-100 a -85	Médio	-85 a -75
Bom	-85 a -70	Bom	-85 a -70	Bom	-75 a -65
Excelente	> -70	Excelente	> -70	Excelente	> -65

Para comparar os resultados dos dois modelos mencionados, um *grid* subdividindo todo o território nacional em 1km x 1km foi gerado. Para a incorporação do terreno nos cálculos do modelo ITM, o modelo digital de elevação da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 90 metros foi utilizado.

14.4 Análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e para caracterização da cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas

Esse procedimento foi realizado em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG), cruzando as informações de área classificadas pelo modelo de disponibilidade de banda larga 4G no formato *raster* (Tif) com as classes da chave física e com a resultante de sua interação com chave de prioridade desenvolvidas por Sparovek *et al.* (2014), estas trabalhadas no formato vetorial. As variáveis do modelo de disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G eram classificadas em: (i) sem sinal, (ii) ruim, (iii) médio, (iv) bom e (v) ótimo (Tabela 3) e passaram pelo procedimento de reclassificação para conversão em um sistema binário, de modo que as classes 1, 2 e 3, foram reclassificadas como sinal fraco ou sem sinal e as classes 4 e 5, sinal forte. As variáveis utilizadas na interação das informações são apresentadas na Tabela 4. A interação dos modelos poderia ser realizada em diversas fases da metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada de Sparovek *et al.* (2014), ou seja, com vários resultados das diversas chaves de decisão montadas, mas nesse caso, optou-se pela chave física por ser mais simples.

Tabela 4. Combinação de chave física do modelo de Sparovek *et al.* (2014) e classe de sinal de internet banda larga 4G.

Chave física	Classe de sinal de internet banda larga 4G
Expansão	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente
Estoque (Reserva técnica)	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente
Manutenção e redirecionamento	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente
Outra estratégia de desenvolvimento	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente

14.5 Análise territorial visando a cobertura de banda larga (telefonia móvel 4G) nas áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central com vistas à automação remota

14.5.1 Classificação das torres de telefonia móvel: tecnologia 2G, 3G e 4G

Uma breve comparação da concentração das antenas nas regiões do país é mostrada na Tabela 5. Os dados indicam maior cobertura de antenas nas regiões de maior desenvolvimento econômico do país: Sudeste e Sul. No Norte, a região do país que possui menor cobertura, a densidade de antenas chega a ser 30 vezes menor do que na região Sudeste. Embora essa análise sugira e aponte para uma melhor conectividade de determinadas regiões, ela desconsidera a tecnologia relativa a cada antena, bem como o tipo de ocupação humana no entorno (urbano, rural, agropecuária, conservação ambiental).

O resultado da classificação da frequência das antenas na respectiva tecnologia disponível é apresentado na Figura 3 e Tabela . Cada ponto vermelho transparente representa uma estação. O vermelho mais intenso representa maior concentração de antenas próximas.

Tabela 5. Dados da distribuição de antenas no Brasil. Adaptado de Agência Nacional de Telecomunicações (2018) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011).

Região	Área total (Milhões de ha)	Número de antenas	Densidade de antenas (antenas/Milhões de ha)	Média de antenas por município
Norte	389,3	4,949	12,71	11,04
Nordeste	159,4	15,884	99,63	8,85
Sudeste	104,3	40,517	388,22	24,33
Sul	71,7	13,362	186,34	11,27
Centro-Oeste	173,1	6,570	37,95	14,50



Figura 3. Classificação da frequência das antenas de telefonia para tipo de tecnologia móvel no Brasil. Adaptado da Agência Nacional de Telecomunicações (2018).

Tabela 6. Distribuição das antenas por tipo de tecnologia móvel disponível.

Região/UF	Número de antenas			Região/UF	2G	3G	4G
	2G	3G	4G				
CENTRO-OESTE	5.897	6.549	4.881	NORTE	4.407	4.947	3.310
Distrito-Federal	565	624	546	Acre	146	176	128
Goiás	3.231	3.576	2.767	Amapá	209	232	167
Mato Grosso	1.205	1.334	873	Amazonas	1.112	1.232	768
Mato Grosso do Sul	896	1.015	695	Pará	1.787	2.037	1.524
NORDESTE	8.485	10.909	5.842	Rondônia	482	541	369
Alagoas	493	611	302	Roraima	135	148	102
Bahia	3.262	3.742	2.409	Tocantins	536	581	252
Ceará	653	1.314	472	SUDESTE	32.006	38.193	21.751
Maranhão	815	911	457	Espírito Santo	1.138	1.323	624
Paraíba	569	785	340	Minas Gerais	8.371	9.718	4.976
Pernambuco	970	1.389	740	Rio de Janeiro	6.611	8.605	5.177
Piauí	707	907	496	São Paulo	15.886	18.547	10.974
Rio Grande do Norte	479	640	245				
Sergipe	537	610	381				
SUL	10.411	11.353	5.995				
Paraná	4.380	4.829	2.542				
Rio Grande do Sul	4.494	4.818	2.708				
Santa Catarina	1.537	1.706	745				
				Total Geral	61.206	71.951	41.779

O fato que vale ser ressaltado é que a maior densidade de antenas pode não significar necessariamente um melhor sinal, uma vez que essas antenas podem operar apenas tecnologias de menor qualidade de conexão. Para incluir essa discriminação no modelo, é necessário analisar individualmente as frequências de operação das antenas.

14.6 Qualidade da cobertura 4G: modelos de Friis e ITM

A primeira aproximação da modelagem espacial adotou o que Molisch (2011) define como sendo o cenário mais simples possível: um transmissor e um receptor em espaço livre. Este é o caso do modelo de Friis, no qual a potência recebida é função apenas da distância entre as antenas e a Fórmula de Friis fornece a relação matemática para o cálculo. A qualidade da cobertura de sinal resultante da modelagem Friis para a tecnologia 4G pode ser vista na Figura 4.

Em nível nacional (Tabela 7), a tecnologia para a 4G cobre apenas 6,22% do território com nível de qualidade excelente, fruto da combinação da menor sensibilidade dos dispositivos

e a rede de estações disponíveis menos extensa em relação às outras tecnologias (2G e 3G) (Tabela 6).

Tabela 7. Percentual de sinal 4G excelente (Ps) nos territórios estaduais a partir do modelo Friis.

Região	Estado	Ps (4G)	Região	Estado	Ps (4G)
Norte	Rondônia	0,66	Sudeste	Minas Gerais	28,41
	Acre	0,67		Espírito Santo	15,42
	Amazonas	0,86		Rio de Janeiro	9,04
	Roraima	1,63		São Paulo	6,86
	Pará	0,81		Paraná	18,13
	Amapá	5,59		Santa Catarina	12,67
	Tocantins	6,92		Rio Grande do Sul	4,39
Nordeste	Maranhão	9,80	Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	2,79
	Piauí	18,15		Mato Grosso	11,25
	Ceará	32,78		Goiás	25,97
	Rio Grande do Norte	31,22		Distrito Federal	0,66
	Paraíba	21,77			
	Pernambuco	26,09			
	Alagoas	25,44			
	Sergipe	13,84			
	Bahia	13,83			
					Brasil

A qualidade da cobertura de sinal resultante da modelagem ITM. A para a tecnologia 4G pode ser vista na Figura 4.

A tecnologia 4G cobre apenas 5,20% do território com nível de qualidade excelente para o modelo ITM aplicado em nível nacional (Tabela 8). Os estados da região Nordeste possuem um bom nível de cobertura com sinal excelente em relação às demais regiões.

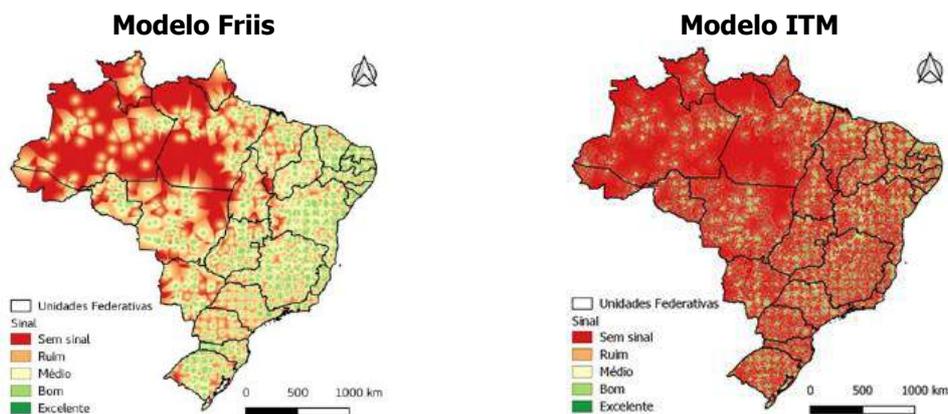


Figura 4. Superfície de cobertura da tecnologia 4G. Modelos Friis e ITM.

Tabela 8. Percentual de sinal 4G excelente (Ps) nos territórios estaduais a partir do modelo ITM.

Região	Estado	Ps	Região	Estado	Ps
Norte	Rondônia	4,06	Sudeste	Minas Gerais	10,30
	Acre	0,68		Espírito Santo	18,54
	Amazonas	0,69		Rio de Janeiro	12,75
	Roraima	0,76		São Paulo	9,79
	Pará	1,63	Sul	Paraná	5,43
	Amapá	0,76		Santa Catarina	10,85
	Tocantins	4,59		Rio Grande do Sul	9,44
Nordeste	Maranhão	5,94	Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	3,88
	Piauí	8,35		Mato Grosso	2,40
	Ceará	15,01		Goiás	8,60
	Rio Grande do Norte	25,81		Distrito Federal	18,87
	Paraíba	21,49	Brasil		
	Pernambuco	17,08			
	Alagoas	20,77			
	Sergipe	19,70			
	Bahia	10,33			5,20

14.6.1 Comparação de resultados entre os modelos ITM e Friis

O modelo ITM incorpora mais fatores como a altitude e a existência de obstáculos, muito importantes para a transmissão no mundo real. Na comparação entre os modelos nota-se que o ITM fornece amplitudes de sinal mais estreitas que o de Friis. Por meio da incorporação do terreno de uma maneira mais detalhada, o ITM nem subestima a importância das obstruções como a Fórmula de Friis e nem reduz toda a complexidade do problema a poucos coeficientes fixos, como outros modelos (modelo COST231-Hata) tendem a fazer. Essa propriedade fica particularmente evidente na Figura 5, onde os dois diferentes padrões de difusão são colocados lado a lado para uma única antena. Na direita, a Fórmula de Friis tende a superestimar a difusão ao longo do território enquanto no modelo ITM, na esquerda, atribui uma intensidade diferente para cada pixel, em função do relevo no caminho entre transmissor-receptor, evidenciando que o modelo os resultados da simulação do sinal tendem a ser mais relacionada ao ambiente.

Ao se comparar os resultados diretos quanto ao efeito sobre a cobertura de sinal excelente, verifica-se que o modelo Friis apresenta 6,22% de cobertura (Tabela 7), enquanto o ITM apresenta 5,20% de cobertura (Tabela 8), ressaltando a diferença na incorporação de outros fatores. Apesar da diferença percentual ser pequena em termos de área coberta, esse valor é significativo, chegando a mais de um milhão de hectares.

A Figura 6 apresenta a porcentagem de área coberta em cada UF com sinal excelente de acordo os dois modelos trabalhados. Os estados da região Norte (Roraima, Amapá, Amazonas, Pará e Acre) e os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo praticamente não apresentaram diferenças entre os modelos, fato que deve estar relacionado à quantidade e localização das torres. Já os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Norte, Espírito Santo e Paraíba e o Distrito Federal apresentaram as maiores diferenças de porcentagem de área coberta.

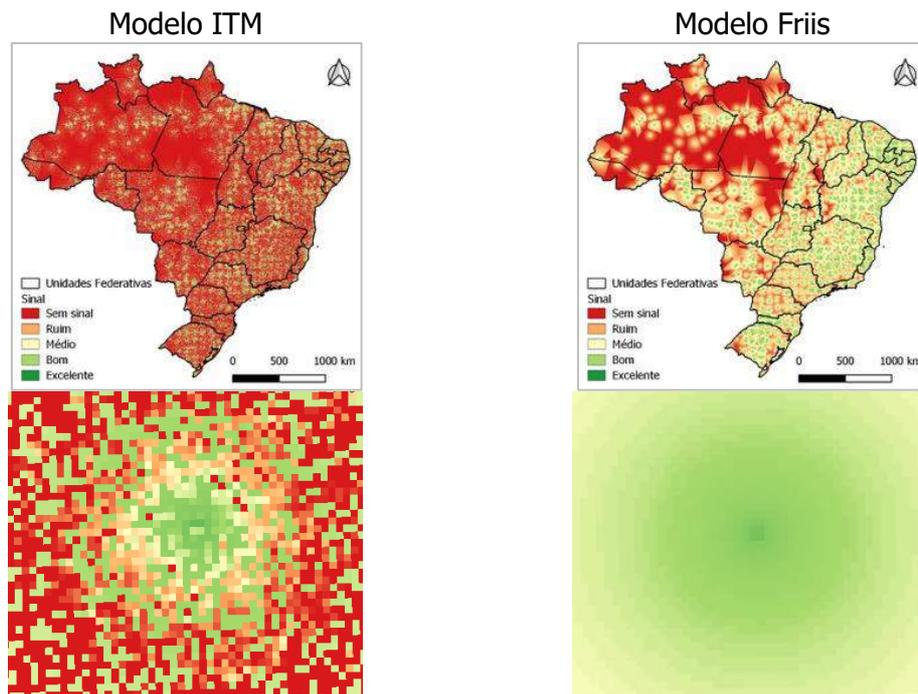


Figura 5. Diferença entre os modelos utilizados para uma única antena no estado do Pará.

Conforme consta na Figura 7 (Friis), mesmo o Nordeste, região com maior parte do território coberto por 4G de excelente qualidade, apenas metade dos municípios possui mais de 5% do território coberto com 4G de excelente qualidade. Além disso, conforme o tamanho do território aumenta, o percentual de municípios com cobertura excelente decresce rapidamente. Também no Nordeste, apenas 20% dos municípios possuem cobertura excelente em mais da metade de seus territórios. No Norte, a região com pior cobertura excelente de 4G, este percentual é muito inferior: 5%.

Conforme pode ser visto na Figura 8, as curvas para o modelo ITM foram deslocadas para baixo em relação às do modelo de Friis. A região Nordeste, que tinha 20% dos municípios com cobertura excelente em mais da metade de seus territórios, passou para cerca de 11% com o ITM e no Norte, a região com pior cobertura excelente de 4G, este percentual passou para cerca de 1%.

A informação do eixo horizontal da Figura 8, o percentual do território coberto por sinal excelente de 4G (Friis) pode ser calculado também por município a partir dos dados da Figura 8 e o valor pode ser de grande interesse para a elaboração de políticas públicas, pois permite identificar locais críticos. Um exemplo de criticidade encontrada por meio dessa análise é que 2.270 municípios usando o modelo ITM, ou seja, 40% dos municípios do país possuem a totalidade de seus territórios sem qualquer cobertura excelente de 4G.

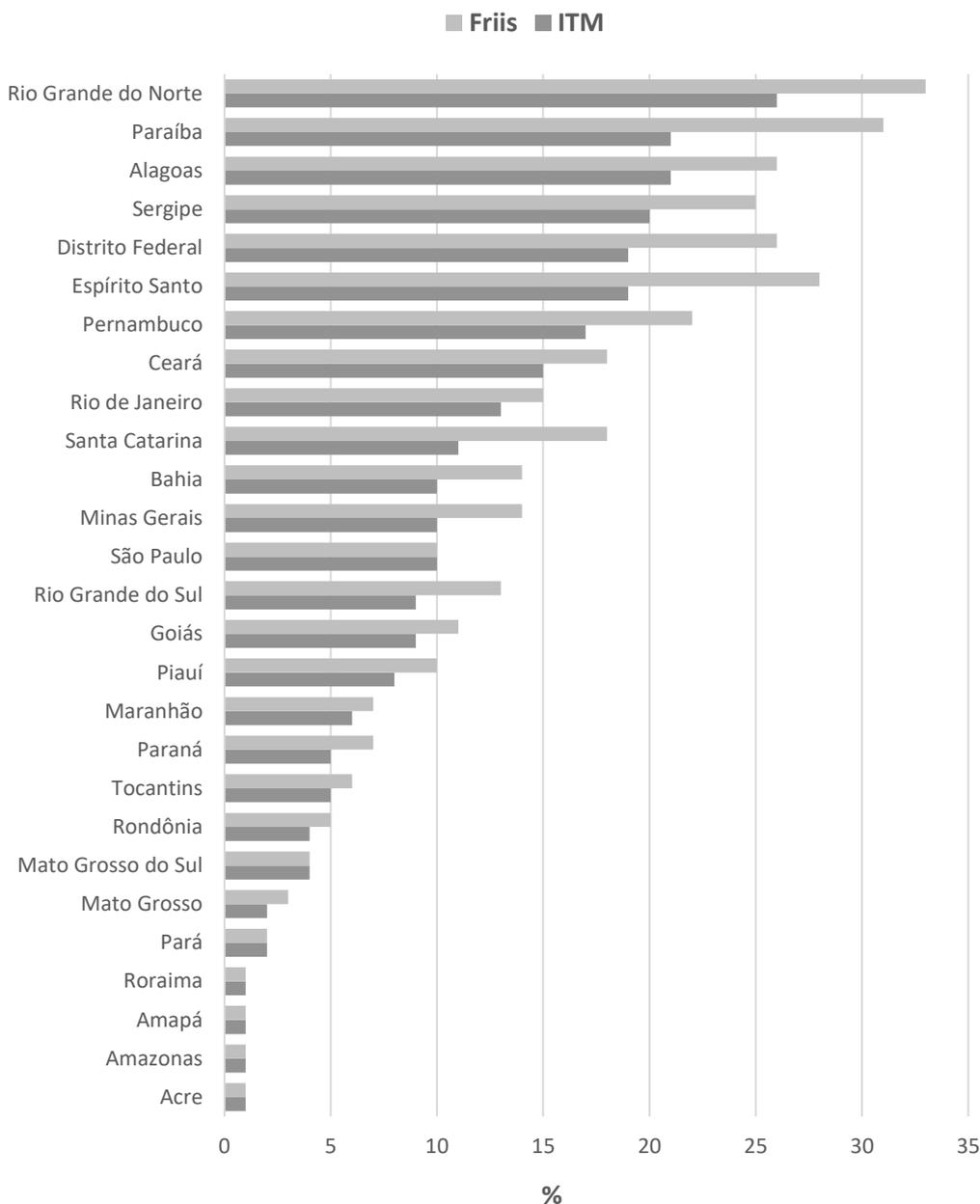


Figura 6. Diferença entre os modelos ITM e Friis: % de área coberta com sinal excelente (4G).

A Figura 8 apresenta também uma classificação dos municípios que possuem algum sinal excelente de 4G em seus territórios. Um corte foi feito no percentil de 50%, de modo que os municípios em amarelo são aqueles que possuem os menores percentuais e em verde, aqueles com maiores percentuais de cobertura. Nota-se que os municípios mais críticos se concentram sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste, pois em ambos os casos há poucos municípios com altos percentuais de cobertura excelente e um grande número de municípios sem qualquer sinal excelente. Na região Sul, muitos dos municípios que não possuem qualquer sinal se localizam no estado do Paraná. A situação é, em geral, melhor em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. No Sudeste e Nordeste a situação é menos problemática e geograficamente isso se reflete na maior concentração de municípios com altos percentuais de cobertura.

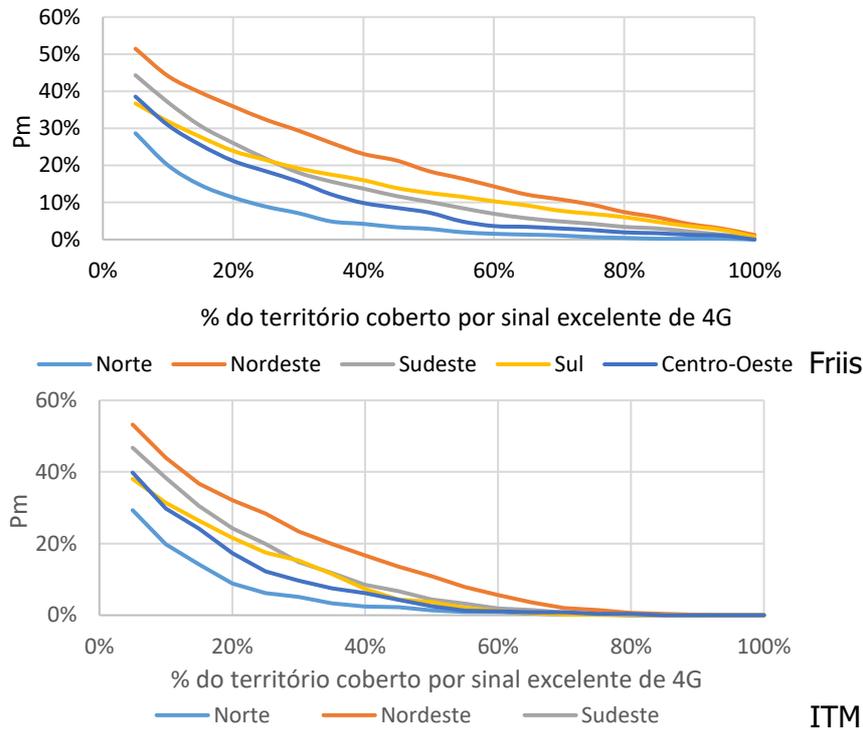


Figura 7. Percentual de municípios (Pm) com cobertura excelente de 4G por região (Friis e ITM).

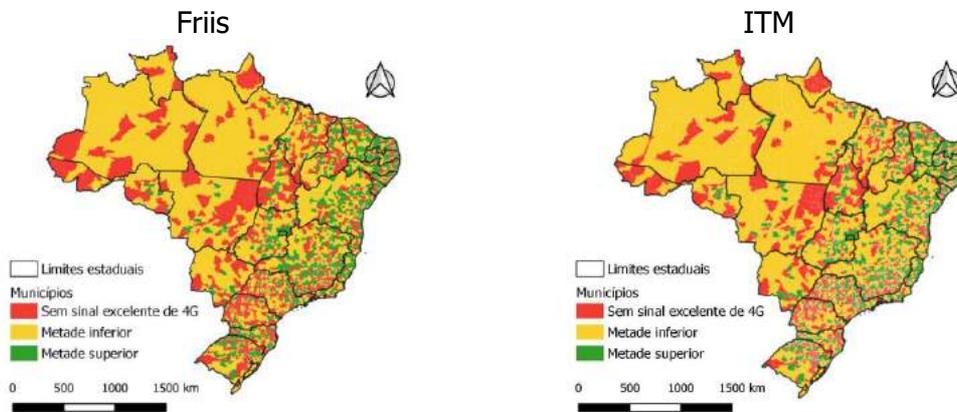


Figura 8. Classificação dos municípios brasileiros quanto ao sinal excelente de 4G.

Mesmo sendo uma abordagem bastante simples e que desconsidera fatores que na prática da transmissão são importantes, sobretudo o relevo e a existência de obstáculos entre as antenas, uma validação empírica do modelo de Friis com o Sistema Mosaico da Agência Nacional de Telecomunicações (2018b) mostrou coincidência das predições para pelo menos 100 pontos verificados manualmente ao longo do território nacional. Esse resultado indica que a Fórmula de Friis é adequada para uma abordagem inicial do problema, mas a complexidade do fenômeno demanda que cálculos mais elaborados sejam realizados para que resultados mais realísticos sejam obtidos, por isso um modelo altamente complexo como o ITM foi também estudado.

O modelo ITM em função de sua robustez foi o escolhido para o decorrer das análises com os pivôs centrais.

14.7 Áreas com pivô central e qualidade da cobertura 4G pelo modelo ITM

De acordo com o banco de dados de pivôs centrais mapeados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019ac), existem 23.181 com área média de 60 hectares distribuídos por todo o território nacional nos municípios ilustrados na Figura 9.

Esses pivôs perfazem o total aproximado de 1,5 milhões de hectares de área, tendo a maior concentração em número no estado de Minas Gerais (Tabela 9). A região Sudeste tem 52% do total de pivôs que representam 45% da área coberta com essa tecnologia. Na região Norte, a maioria dos pivôs centrais ficam localizados no Tocantins (83%) (Tabela 9), sendo essa a única Região Geográfica de baixo desenvolvimento da agricultura irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2019).

Na região Centro-oeste, a segunda com maior volume de área ocupada com essa tecnologia, representando 29% do total, a área média dos pivôs no estado do Mato do Grosso é de 122 hectares, enquanto no Distrito Federal, essa área média é de apenas 56 hectares (Tabela 9). Essa região vem aumentando sua participação desde a década de 1990 no cenário nacional, puxado por Goiás (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA; 2019), que tem quase 4 mil pivôs e uma área ocupada superior a 270 mil hectares (Tabela 9). Já a Região Sul vem aumentando sua participação de forma mais expressiva no uso dessa tecnologia a partir de 2010, quando o Rio Grande do Sul ultrapassou 100 mil hectares equipados para irrigação por pivôs (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2019). Atualmente representam cerca de 8% do volume de área ocupada com essa tecnologia (Tabela 9) e o tamanho médio dos equipamentos gira entorno de 60 hectares (Figura 9).

Essa tecnologia de agricultura irrigada apresentou crescimento forte e persistente nas últimas décadas, e que se acelerou ainda mais a partir de 2010 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2019), evidenciando a sua importância no cenário nacional.

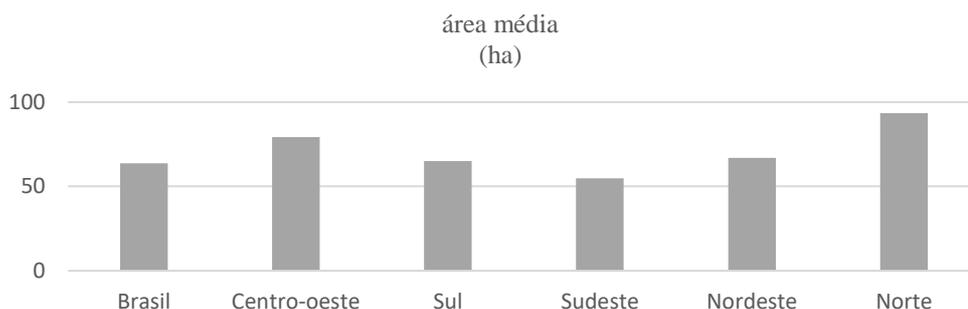
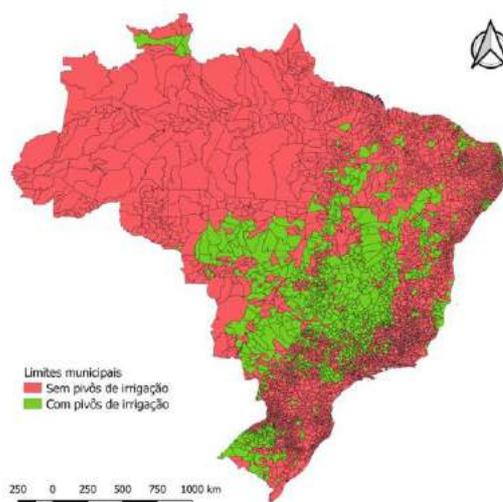


Figura 10. Área média com pivô central. Adaptado de Agência Nacional De Águas E Saneamento Básico (2019a).

Tabela 9. Pivôs centrais por unidade da federação. adaptado de Agência Nacional De Águas E Saneamento Básico (2019a).

Região	UF	n	Área (ha)	Região	UF	n	Área (ha)
Norte	Rondônia	5	656,2	Sudeste	Minas Gerais	7.401	452.190
	Acre	0	0,0		Espírito Santo	309	14.418
	Amazonas	0	0,0		Rio de Janeiro	2	85
	Roraima	25	2.271,6		São Paulo	4.262	190.507
	Pará	2	250,6	Sul	Paraná	207	12.256
	Amapá	0	0,0		Santa Catarina	11	612
	Tocantins	156	14.392,3		Rio Grande do Sul	1.683	110.859
Nordeste	Maranhão	69	5.492	Mato Grosso do Sul	320	31.878	
	Piauí	40	2.592	Centro-Oeste	Mato Grosso	929	113.125
	Ceará	144	8.422		Goiás	3.945	272.329
	Rio Grande do Norte	57	3.229		Distrito Federal	256	14.417
	Paraíba	88	3.836				
	Pernambuco	19	1.037				
	Alagoas	117	4.014				
	Sergipe	24	600				
Bahia	3.110	216.631					
				Brasil	23.181	1.476.101	

**Figura 11. Municípios com e sem pivô central (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).**

Essa etapa do trabalho visando detectar a extensão das áreas cobertas com internet sinal 4G, consistiu na análise de dados do cruzamento entre as áreas dos pivôs centrais com as áreas mapeadas com sinal de internet geradas pelo modelo ITM.

Os resultados apresentados na Figura 11 indicam que cerca de 1.900 pivôs dos existentes (Tabela 9) teriam 100% de sua área coberta com sinal excelente de banda larga 4G, fato que possibilitaria pensar em agricultura altamente conectada (Agro 4.0) funcionando como uma rede, conforme colocado por Massruhá e Leite (2017). Nessas áreas é possível uma ampla distribuição de sensores para a coleta e transmissão de dados visando a sua completa automação e controle de informações de forma remota, que poderia ser feita através do uso de aparelhos de telefonia móvel com aplicativos instalados para essa finalidade. Hoje muitas empresas do setor de equipamentos possuem aplicativos para telefones móveis desenvolvidos para o controle dos pivôs, recebendo informações de sensores e transmitindo comandos.

Um sistema de tempo real para o monitoramento remoto de terras irrigadas através de dispositivos móveis com acesso à internet foi desenvolvido e testado por Almeida *et al.* (2012), sendo identificado como um ponto de melhoria futura a implementação de técnicas de *data mining* (ou Mineração de Dados, é uma área de pesquisa multidisciplinar, incluindo principalmente as tecnologias de bancos de dados, inteligência artificial, estatística, reconhecimento de padrões, sistemas baseados em conhecimento, recuperação da informação, computação de alto desempenho e visualização de dados) (CARDOSO, 2005) sobre os dados coletados para alcançar novas concepções. Neste caso o uso de internet banda larga de tecnologia 4G (ou superior), como abordado nessa pesquisa, seria necessário para viabilizar o fluxo de grande quantidade de dados.

É importante destacar que o sistema de pivô central tem sido o mais utilizado em função da capacidade de distribuição uniforme da água requerida pelas culturas, alto grau de automação, adaptação a diferentes tipos de solo e irrigação de grandes áreas, além da mencionada capacidade de aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas (EVANS, 2001 *apud* AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2019). Entretanto, em sistemas de irrigação como o pivô central, que se aplica a grandes áreas, a comunicação de sensores com um controlador via cabos é inviável por causa da grande distância (QUEIROZ *et al.*, 2008). Esse fato reforça o argumento de que o uso de sinal de internet banda larga poderia auxiliar muito o processo de conectividade e implantação do Agro 4.0 nas áreas irrigadas por pivôs centrais, facilitando o processo de automação dos mesmos.

Áreas de pivôs centrais com cobertura parcial de sinal de internet banda larga também podem ser usadas para coleta de informações e automação dos pivôs centrais. Entretanto, as informações coletadas dessas áreas precisam ser avaliadas quanto à sua representatividade ou não para o pivô central como um todo. Nesse caso, a avaliação deve abranger a cobertura tanto para a coleta de informações, quanto para a transmissão de comandos para o pivô. Na Figura 11 pode se ver que cerca de 1,100 pivôs, além dos 1.900 com cobertura de sinal em toda a área, tem pelo menos 50% de sua área coberta por sinal excelente de internet banda larga 4G. No ponto extremo dessa perspectiva, cabe destacar que quase 18% dos pivôs centrais do Brasil teriam pelo menos 5% de sua área coberta com sinal excelente de internet 4G, que possibilitaria ao menos o uso de uma estação meteorológica voltada ao manejo da irrigação, operando com o envio constante de informações coletadas.

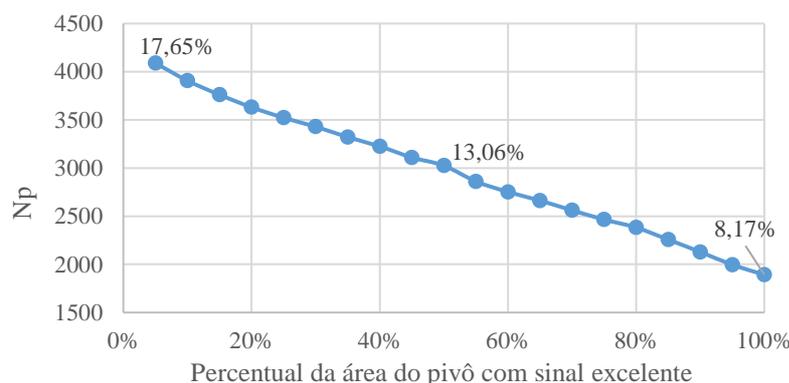


Figura 12. Número de pivôs com área com sinal excelente superior ao eixo horizontal e percentual de área de pivôs com cobertura de sinal 4G excelente.

Por outro lado, a Figura 12, mostra que mais de 5.000 pivôs (24,33% do total) não teriam nenhuma parte de sua área atingida por sinal banda larga 4G e que cerca de 11.000 teriam pelo menos 50% da área com algum sinal, não sendo avaliada a qualidade desse sinal 4G, que também varia, conforme pode ser visto na Figura 11.

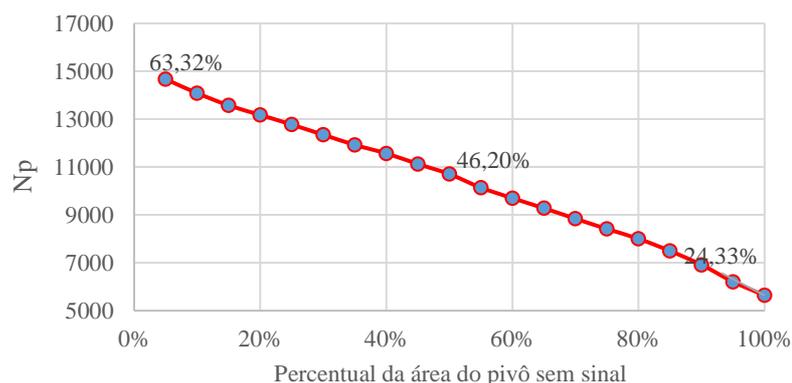


Figura 13. Número de pivôs com área sem sinal superior ao eixo horizontal (Np) e percentual de área de pivôs sem cobertura de sinal 4G.

Os cerca de 1.900 pivôs dos existentes com 100% de sua área coberta com sinal excelente de banda larga 4G (Figura 11) representam aproximadamente 90 mil hectares (Tabela 10). Os estados com maiores áreas nessa condição são Minas Gerais, Bahia, Goiás e São Paulo, perfazendo cerca de 75% desse total. Do total de pivôs com pelo menos 50% de sua área coberta com sinal excelente de banda larga 4G (Figura 11), a área coberta pelo sinal corresponde à aproximadamente 165 mil hectares (Tabela 10), cerca de 10% da área coberta no Brasil com essa tecnologia, conforme os dados trabalhados nesse estudo e os dados publicados por ANA e Embrapa (2019).

Mais de 5.000 pivôs tem 100% de sua área explorada sem sinal de banda larga 4G (Figura 12) e representam aproximadamente 300 mil hectares (Tabela 11). Os estados com maiores áreas nessa condição são Minas Gerais, Bahia, Goiás e São Paulo, perfazendo cerca de 82% desse total. Do total de pivôs dos com pelo menos 50% de sua área sem sinal de internet banda larga 4G (Figura 11), a área coberta pelo sinal corresponde à aproximadamente 700 mil hectares, cerca de 50% da área coberta no Brasil com essa tecnologia, conforme os dados trabalhados nesse estudo e os dados publicados por Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019).

A Agro 4.0 é uma realidade que se apresenta forte no cenário agrícola do país (PARRONCHI, 2019; MASSRUHÁ; LEITE, 2017) e a agricultura irrigada marca o salto para uma nova fronteira de produção. Entretanto, pelos dados apresentados na Figura 12 e Tabela 11 a internet banda larga 4G para as áreas de com sistema de pivô central ainda se encontram com baixo nível de cobertura, visto que cerca de 700 mil hectares têm pelo menos 50% de sua área sem sinal de internet 4G.

Diversas ações recentes do governo federal visaram ampliar a oferta de banda larga no meio rural, com destaque para a Lei Geral das Telecomunicações (LGT); o Programa Nacional de Banda Larga (PNBL); a estruturação da ANATEL como agente regulador e na atribuição da Telebrás na implantação da infraestrutura de telecomunicações; as medidas para estímulo a investimentos do setor privado, como isenções fiscais e redução de cargas tributárias; e a constituição de fontes de recursos para investimentos em infraestrutura física terrestre. Entretanto, como pode ser visto na Figura 12, essas ações não conseguiram cobrir grandes extensões de área em relação a tecnologia banda larga 4G com sinal excelente e apenas cerca do 5% do território nacional conta com essa ferramenta para desenvolvimento da Agro 4.0.

Tabela 10. Quantitativo de pivôs centrais e área com cobertura de sinal 4G excelente.

UF	Pivôs	% de pivôs com 100% da área com sinal	Área dos pivôs com 100% da área com sinal	% de pivôs com pelo menos 50% da área com sinal	Área dos pivôs com pelo menos 50% da área com sinal
Rondônia	5	0,00	-	0,00	-
Acre	-	-	-	-	-
Amazonas	-	-	-	-	-
Roraima	25	0,00	-	0,00	-
Pará	2	0,00	-	0,00	-
Amapá	-	-	-	-	-
Tocantins	156	4,49	1.095	10,26	2.005
Maranhão	69	0,00	-	1,45	56
Piauí	40	10,00	187	15,00	222
Ceará	144	26,39	1.417	39,58	2.403
Rio Grande do Norte	57	17,54	617	28,07	1.094
Paraíba	88	7,95	243	17,05	649
Pernambuco	19	5,26	30	21,05	218
Alagoas	117	8,55	341	9,40	419
Sergipe	24	29,17	96	29,17	96
Bahia	3.109	13,80	13.756	18,08	22.181
Minas Gerais	7.394	7,95	30.079	13,31	54.993
Espírito Santo	309	27,51	3.792	47,57	6.924
Rio de Janeiro	2	50,00	43	50,00	43
São Paulo	4.262	5,37	9.187	7,81	14.718
Paraná	207	1,45	115	3,38	551
Santa Catarina	11	0,00	-	0,00	-
Rio Grande do Sul	1.683	6,71	5.414	13,19	12.288
Mato Grosso do Sul	320	6,56	1.809	10,94	3.174
Mato Grosso	929	5,38	5.778	10,98	12.524
Goiás	3.943	5,96	12.765	10,58	25.801
Distrito Federal	256	21,09	2.468	32,03	4.330
Brasil	23.171		89.233		164.691

Destaca-se que ainda há muita carência de informações espacializadas sobre áreas prioritárias para o estabelecimento de conectividade no meio rural, bem como de diretrizes de ação regionalizadas e direcionadas aos diversos públicos-alvo localizados no território rural. Nesse sentido, uma ampliação do estudo de análise territorial aqui proposto para analisar o potencial de conectividade de pivôs centrais via internet de telefonia móvel poderia ser realizado, buscando mapear áreas de interesse prioritário para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a expansão da conectividade e a Agro 4.0 dentro dos sistemas de produção irrigados.

Tabela 11. Quantitativo de pivôs centrais e área sem cobertura de sinal 4G.

UF	Nº pivôs	% de pivôs com 100% da área sem sinal	Área dos pivôs com 100% da área sem sinal	% de pivôs com pelo menos 50% da área sem sinal	Área dos pivôs com pelo menos 50% da área sem sinal
Rondônia	5	60	450	80	573
Acre	-	-	-	-	-
Amazonas	-	-	-	-	-
Roraima	25	32	391	64	1.405
Pará	-	-	-	-	-
Amapá	2	50	117	100	251
Tocantins	156	19	2.394	42	5.572
Maranhão	69	39	2.075	68	3.713
Piauí	40	25	572	55	1.626
Ceará	144	5	353	19	2.036
Rio Grande do Norte	57	4	80	11	265
Paraíba	88	34	1.256	52	1.948
Pernambuco	19	11	39	21	181
Alagoas	117	11	327	18	616
Sergipe	24	38	193	58	391
Bahia	3.109	23	43.941	43	110.596
Minas Gerais	7.394	24	92.092	44	198.759
Espírito Santo	309	6	605	15	1707
Rio de Janeiro	2	0	0	0	0
São Paulo	4.262	29	43.411	49	92.619
Paraná	207	29	2.620	59	7.247
Santa Catarina	11	0	0	55	364
Rio Grande do Sul	1.683	19	18.524	45	50.959
Mato Grosso do Sul	320	15	4328	41	12.853
Mato Grosso	929	17	16.001	50	56.773
Goiás	3.943	29	66.796	54	145.022
Distrito Federal	256	20	2.659	34	5.076
<i>Brasil</i>	23.171*		299.222		700.549

* 10 pivôs foram excluídos por apresentarem área menor que a unidade do pixel de processamento do modelo.

14.8 Análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e para caracterizar a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas

O trabalho desenvolvido por Sparovek *et al.* (2014) criou uma chave física (classes territoriais de agricultura irrigada) para agrupamento de áreas que tinham características consideradas importantes para representar o potencial de expansão da agricultura irrigada: (i) expansão; (ii) estoque (reserva técnica); (iii) manutenção e redirecionamento; e, (iv) outras estratégias. A nomenclatura dada a cada uma das classes busca representar a sua essência principal no contexto de seu uso (no caso, para gestores de políticas públicas com enfoque em agricultura irrigada), ou seja, a própria nomenclatura da classe remete para como essa área deve ser considerada na tomada de decisão.

A classe territorial expansão foi definida como sendo o resultado da combinação de áreas (bacias) com alta ou média área adicional irrigável; alta ou média área Irrigada: condição em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva e o meio físico ainda tem capacidade de suportar uma expansão de áreas irrigadas sem comprometer abastecimento público ou gerar conflitos de uso de recursos hídricos. Por serem regiões de agricultura irrigada

já instalada, as áreas mapeadas como classe expansão tem grande probabilidade de contarem com infraestrutura suficiente e sociedade já adaptada tecnicamente ao cultivo de culturas irrigadas. O processamento de interação dos modelos criando novos agrupamentos territoriais, como proposto nesse trabalho, leva a necessidade de definição de uma nova nomenclatura, a qual deve considerar todos elementos desse novo contexto, nesse caso, a inserção de uma importante informação como a existência de sinal forte de internet banda larga 4G de telefonia móvel, ou seja, conectividade.

Os resultados de processamento da interação dos modelos, no caso das classes territoriais de agricultura irrigada e de disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G são apresentados na Tabela 12. De forma quantitativa os resultados, entre outras coisas, mostram que cerca de 22% da área territorial de expansão tem sinal forte de internet 4G, assim como o território de manutenção e redirecionamento tem cerca de 29% de sua área coberta com esse mesmo tipo de sinal.

Essas são informações poderosas para os gestores públicos para a tomada de decisão em relação a determinadas ações a serem definidas, visto que trazem quantificações que permitem dimensionamentos diversos (esforços, recursos financeiros e humanos). Por exemplo, dentro de estratégias de fortalecimento da agricultura irrigada tem ações para incentivar produtores que vão começar ou já praticam a agricultura irrigada a usar sistemas automatizados, nesse caso os incentivos e ações deveriam focar os territórios de expansão, pois reúnem elementos essenciais elencados na sua caracterização (Combinação de áreas (bacias) com alta ou média área adicional irrigável; alta ou média área Irrigada: condição em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva e o meio físico ainda tem capacidade de suportar uma expansão de áreas irrigadas sem comprometer abastecimento público ou gerar conflitos de uso de recursos hídricos) e ainda concentra-se na áreas com sinal forte de internet banda larga 4G, visto que a existência dessa variável pode trazer facilidade de implantação e maior eficiência para o processo de automação, como discutido anteriormente nesse trabalho. Para essas áreas também caso houvesse a estratégia de realizar cursos de capacitação, este poderia ser praticado por meio de ensino a distância (EAD), visto que os locais apresentam boa conectividade via internet. A partir do exemplo acima é possível visualizar o dinamismo que se pode empreender na modelagem, ou seja, na ferramenta de análise territorial da agricultura irrigada para adequar seus resultantes com a agregação de novas informações ao que se deseja responder.

Tabela 12. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G em áreas de classes territorial de agricultura irrigada.

Classes territoriais de agricultura irrigada	Sinal fraco ou inexistente		Sinal forte	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Estoque (Reserva técnica)	603.395	87,45	86.593	12,55
Expansão	2.586.136	77,91	733.331	22,09
Manutenção e redirecionamento	646.256	70,99	264.069	29,01
Outras estratégias	3.355.078	94,76	185.669	5,24

Também os resultados de processamento da interação desses modelos necessariamente podem ser apresentados em formato espacializado, pois a base de construção da modelagem tem como elemento comum a todas as variáveis envolvidas a sua dimensão espacial explícita, ou seja, a territorialidade (Figuras 13 e 14). Na Figura 13 são apresentados os resultados da interação das classes expansão e estoque (reserva técnica). Os resultados mostram que para as áreas que representam a classe expansão (mapa superior da Figura) não há uma concentração localizada de sinal forte, estes permeiam por diferentes pontos, sempre associados a centros urbanos. Poucas áreas concentradas maiores chamam a

atenção por não terem sinal forte, podendo ser destacado o MATOPIBA, centro-norte do Mato Grosso e região leste do Mato Grosso do Sul. Já as áreas do território estoque, por naturalmente terem menos infraestrutura (princípio de sua constituição), tem ocorrência muito pequena de sinal forte, os quais aparecem em pontos dispersos.

A classe estoque é resultado da combinação de alta área adicional irrigável; baixa área irrigada: regiões em que ainda não há agricultura irrigada, mas que esta é importante para o desenvolvimento da agricultura por serem regiões classificadas como de alta ou média "Necessidade de Irrigação". A Classe estoque aponta regiões estratégicas para enfoque de médio e longo prazo, situadas em locais que ainda não apresentam uma dinâmica consolidada de produção agropecuária com emprego de tecnologia de irrigação. Nessas regiões o meio físico apresenta um bom potencial de suporte de agricultura irrigada e o planejamento faz-se fundamental para evitar ordenar a ocupação sem criação de futuros cenários de restrição de abastecimento ou esgotamento de recursos hídricos pela agricultura (SPAROVEK *et al.*, 2014).

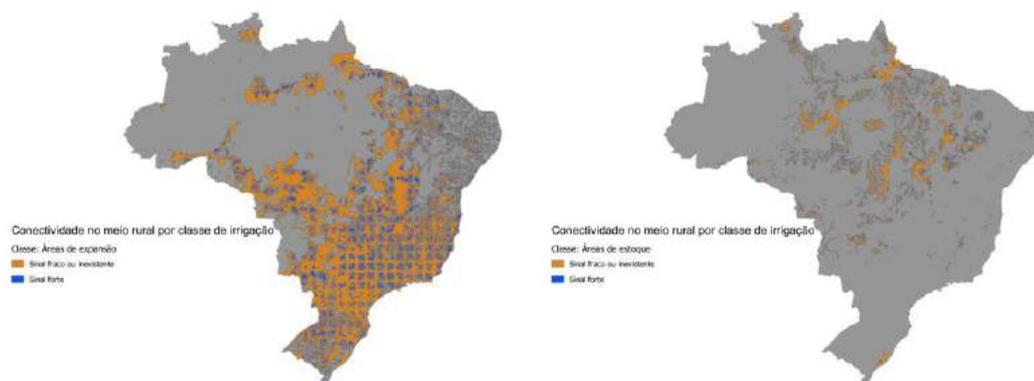


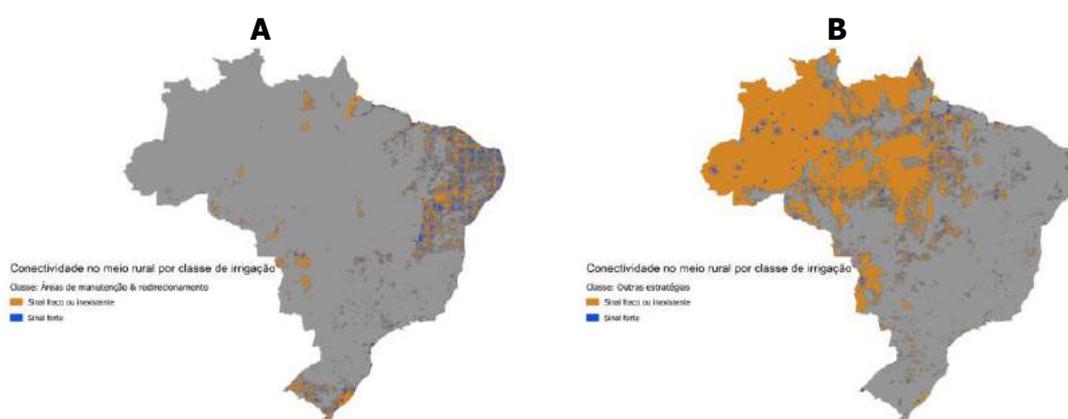
Figura 14. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G nas áreas de expansão (mapa superior) e estoque - reserva técnica (mapa inferior).

As áreas de manutenção e redirecionamento (mapa superior) estão concentradas na região nordeste (Figura) e estas são entremeadas por áreas de sinal forte de internet banda larga. Como são regiões em que a agricultura irrigada faz parte da matriz produtiva, porém os recursos hídricos não têm capacidade de suportar uma expansão da atividade, indicando condições prováveis de conflito no uso da água. Esse tipo de situação para gestores públicos é estratégico para intervenção voltadas para o gerenciamento e racionalização do uso da água. Nesse sentido ideal seriam políticas voltadas ao gerenciamento e racionalização do uso da água, como exemplo, cursos de capacitação por meio de ensino a distância (EAD) para melhorar a eficiência dos produtores no uso da água em sistemas de irrigação e melhores práticas conservacionistas, visto que existe muitas áreas com boa conectividade via internet (cerca de 29% da área). Neste mesmo sentido de benefícios de conectividade disponível, o uso de ferramentas ou instrumentos de monitoramento e avaliação para determinada política pública implementada devem priorizar os que possam operar conectados nesses territórios, já enviando dados para um local central e proporcionando informações em tempo real ou somente permitindo que os dados sejam salvos via conexão, sem depender de uma logística para ir buscar o dado armazenado no local de coleta quando essa coleta for automática.

O resultado de processamento da interação dos modelos, no caso das classes territoriais de agricultura irrigada e de disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G criou uma nova configuração territorial, ou seja, quatro novas classes territoriais vinculadas ao tema da agricultura irrigada, nas quais em função do atributo de terem conectividade apresentam diferenciais que tem influência direta no olhar e na tomada de decisão em relação à políticas públicas voltadas para a agricultura irrigada. Essas novas classes territoriais são apresentadas na Tabela 13 e Figura 14.

Tabela 13. Chave de classificação territorial resultante da interação dos modelos: potencial da agricultura irrigada.

Chave física	Chave de conectividade banda larga 4G	Nova nomenclatura
Expansão	Sinal forte	1. Expansão conectada
	Sinal fraco ou inexistente	2. Expansão
Estoque (Reserva técnica)	Sinal forte	3. Estoque conectado
	Sinal fraco ou inexistente	4. Estoque
Manutenção e redirecionamento	Sinal forte	5. Manutenção e redirecionamento conectados
	Sinal fraco ou inexistente	6. Manutenção e redirecionamento
Outra estratégia de desenvolvimento	Sinal forte	7. Outra estratégia de desenvolvimento conectada
	Sinal fraco ou inexistente	8. Outra estratégia de desenvolvimento

**Figura 15. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G nas áreas de manutenção e redirecionamento (A) e de Interesse elevado de intervenção pública (B).**

14.8.1 Classe de expansão conectada

Resultado da combinação de alta ou média área adicional irrigável; alta ou média área Irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G: condição em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva e o meio físico ainda tem capacidade de suportar uma expansão de áreas irrigadas sem comprometer abastecimento público ou gerar conflitos de uso de recursos hídricos. Por serem regiões de agricultura irrigada já instalada, as áreas mapeadas como classe EXPANSÃO CONECTADA tem grande probabilidade de contarem com infraestrutura suficiente e sociedade já adaptada tecnicamente ao cultivo de culturas irrigadas, possuindo ainda conexão de internet banda larga 4G. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão. Essas áreas têm maior chance de retornarem resultados positivos para a aumento de áreas com agricultura irrigada ou simplesmente em adotar mais facilmente políticas de gestão e uso racional da água.

14.8.2 Classe de estoque conectado

Resultado da combinação de alta área adicional irrigável; baixa área irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G: regiões em que ainda não há agricultura irrigada, mas que esta é importante para o desenvolvimento da agricultura por serem regiões classificadas como de alta ou média "Necessidade de Irrigação". A Classe ESTOQUE aponta regiões estratégicas para

ênfase de médio prazo, situadas em locais que ainda não apresentam uma dinâmica consolidada de produção agropecuária com emprego de tecnologia de irrigação. Nessas regiões o meio físico apresenta um bom potencial de suporte de agricultura irrigada e o planejamento faz-se fundamental para evitar ordenar a ocupação sem criação de futuros cenários de restrição de abastecimento ou esgotamento de recursos hídricos pela agricultura. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão.

14.8.3 Classe de manutenção e redirecionamento

Resultado da combinação de baixa área adicional irrigável; alta área Irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G: Regiões em que a agricultura irrigada faz parte da matriz produtiva, porém os recursos hídricos não têm capacidade de suportar uma expansão da atividade, indicando condições prováveis de conflito no uso da água. Esse tipo de situação é estratégico para intervenção pública no apoio e criação de alternativas à agricultura irrigada, bem como no gerenciamento e racionalização do uso da água. Investimento em obras de infraestrutura como açudes, canais de transposição e perfuração de poços se mostram adequadas nessa configuração. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão.

14.8.4 Classe outras estratégias de desenvolvimento

Resultado da combinação de baixa/média área adicional irrigável e baixa área Irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G: Regiões em que a agricultura irrigada ainda não faz parte da matriz produtiva e que o desenvolvimento da agricultura não depende essencialmente de irrigação ou é ainda muito incipiente. São áreas para observação e aproveitamento de oportunidades onde essas se mostrarem interessantes ou viáveis. A principal utilidade da classe é evidenciar espacialmente locais em que o poder público pode concentrar esforços em políticas alternativas à irrigação para o desenvolvimento da agropecuária ou então inserir essas regiões em uma agenda de planejamento de longo prazo. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão.

De acordo com Sparovek *et al.* (2014) os componentes envolvidos no desenvolvimento da agricultura irrigada, dispersos em múltiplos aspectos de intervenção pública e sua amplitude temática, podem ser agrupados em categorias principais: (i) componentes físicos relacionados à disponibilidade de água, à qualidade dos solos e aos benefícios com ganhos de produtividade com a irrigação; (ii) componentes sociais relacionados às melhorias do bem estar individual do irrigante e ao coletivo (desenvolvimento de sua região); (iii) componentes econômicos, relacionados ao melhor uso dos recursos disponíveis e sua alocação na forma de investimentos e infraestrutura (conectividade); e (iv) componentes ambientais, ligados às externalidades negativas como os impactos ambientais e usos concorrentes da água; ou positivas, pela redução da área agrícola necessária e menor risco de frustração de safra, e o aumento da abrangência territorial viável para a produção agrícola.

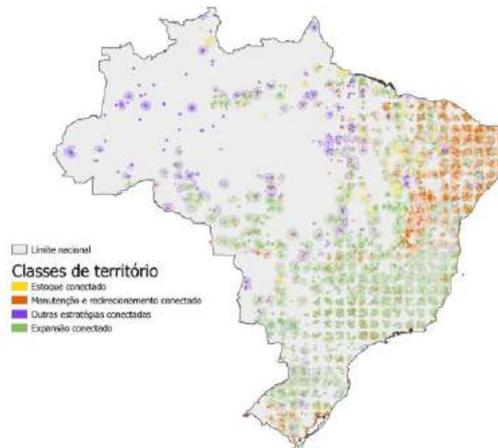


Figura 16. Classe territorial de agricultura irrigada conectada.

As bases de dados dos modelos são essencialmente quantitativas, como a incorporada nesse trabalho, processando variáveis físicas (p.e. vazão dos rios e evapotranspiração das plantas), dados censitários (p.e. valor da produção da agricultura, renda rural), ou índices derivados de modelos físicos de representação de realidades mais complexas (p.e. topografia, *deficit* hídrico e atributos do solo convertidos em classes de aptidão agrícola ou sinal de internet). Além do caráter quantitativo, por vezes redefinidos em categorias, também abarcaram a dimensão espacial ao conjunto de dados, nesse caso, processadas na escala de bacia hidrográfica (otobacias nível 12 da Agência Nacional de Águas). A dimensão espacial foi essencial para o relacionamento dos dois temas, bem como para a geração de resultados que permitam a visualização do gestor público, ou seja, sua apresentação em formato de mapas, como os apresentados na Figura 15.

Nesta metodologia os modelos trataram de representações simplificadas e agregadas por intermédio de chaves classificatórias. A metodologia desenvolvida foi extremante dinâmica e adaptável, visto que a agregação de novo tema levou a construção de novos territórios, num contexto para auxiliar a melhor compreensão da realidade, possibilitando testar cenários com o caráter quantitativo e a representação espacial precisa das variáveis.

A metodologia preditiva simplificada (modelos) e sua integração mostraram uma ampla diversidade de componentes e escalas, além de relações não lineares entre elas que resultaram em informações (ou melhor, conhecimento) importantes para a tomada de decisão e definição de políticas e ações que possam desenvolver a agricultura irrigada.

14.9 Considerações finais

O presente trabalho traz contribuições diretamente relacionadas com o planejamento e a tomada de decisão em políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural e, em especial, à agricultura irrigada no País, que podem vir a proporcionar o salto de produtividade nas áreas agricultáveis do país, consolidando definitivamente o Brasil como grande gerador de alimentos para o mundo.

De forma inovadora, pensando no amplo aspecto de conectividade, o trabalho traz elementos de análise territorial que permitem ao gestor público abordar o tema da agricultura 4.0, na qual a interação de máquina e sensores é altamente explorada, permitindo que muitas etapas e atividades possam ser automatizadas ou que se possa acessar informações rapidamente para a tomada de decisão. Nesse sentido o trabalho trouxe a aplicação de modelos espaciais explícitos sobre a cobertura de sinal de telefonia móvel de banda larga (tecnologia 4G), que atualmente seria a principal forma de viabilizar de maneira ampla a conectividade e acesso à internet no meio rural.

O uso de sinal de internet banda larga poderia auxiliar muito o processo de conectividade (Agro 4.0, internet das coisas) nas áreas irrigadas por pivôs centrais, proporcionando facilidade para a automação dos mesmos e os benefícios desse processo.

A economia de recursos, a rentabilidade e a produtividade agrícola proporcionadas pelo uso adequado de pivôs centrais, que podem ser facilmente alcançadas pela automação de processos e coleta de informações em tempo real para uso desse equipamento, poderiam ser mais abrangentes territorialmente caso o fornecimento de sinal de telefonia banda larga móvel fosse ampliado para mais áreas que adotam o sistema de pivô central.

Nesse sentido, é necessário que o aperfeiçoamento de políticas públicas voltadas à infraestrutura esteja alinhado às políticas públicas de promoção da agricultura irrigada, visando atingir metas de desenvolvimento rural sustentável no curto, médio e longo prazos.

O trabalho apresenta uma contribuição e permite combinar as informações geradas com outros estudos que analisaram o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil e com isso promover o desenvolvimento de ferramentas digitais de análise voltadas para gestores de políticas públicas com foco na agricultura irrigada e uso sustentável da água no meio rural.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019b. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=328&currTab>. Acesso em: 1 ago. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019c. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=328&currTab>. Acesso em: 1 ago. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014**: Relatório Síntese. Brasília, 33p., ANA. EMBRAPA, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. 2. Ed. Brasília, 47p., ANA. EMBRAPA, 2019a. Disponível em: https://www.ana.gov.br/noticias/ana-e-embrapa-identificam-forte-tendencia-de-crescimento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-brasil/ana_levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais_2019.pdf. Acesso em: 28 jul. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. 2018a. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php>. Acesso em: 22 out. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. 2018b. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/mosaico>. Acesso em: 22 out. 2018.
- AGRISHOW. 2018. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/voce-esta-preparado-para-o-futuro-da-agricultura/>. Acesso em: 21 out. 2018.
- ALMEIDA, L.I.; FERNANDES, I.F.C.; COSTA, C.M. **Sisci - sistema para controle de irrigação através de dispositivos celulares**. 2012. Tese (Doutorado - Departamento de informática) - Instituto Federal do Rio Grande do Norte. RN, 2012. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/holos/article/viewfile/681/517>. Acesso em: 21 out. 2018.
- ALTOÉ, M.A.C. **Sistema Automatizado de Irrigação para Culturas Específicas**. Centro Universitário de Brasília, 2012.
- CARDOSO, O.N.P. **Gestão do conhecimento usando Data Mining**: estudo de caso na UFLA. 2005. 124p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

DURSON, M.; OZDEN, S. **A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors**. Technical Education Faculty, Gazi University. Turkey. Ankara, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologia da Embrapa é usada para desenvolver sistema automático de irrigação. **Notícias Embrapa**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/noticia/33188097/tecnologia-da-embrapa-e-usada-para-desenvolver-sistema-automatico-de-irrigacao>. Acesso em: 22 nov. 2018.

FARRANT, A. **Signal Server**: Multi-threaded radio propagation simulator based upon SPLAT! Disponível em: <https://github.com/Cloud-RF/Signal-Server>. Acesso em: 1 mar. 2019.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Pesquisa desenvolvida com utilização dos recursos computacionais do Centro de Ciências Matemáticas Aplicadas à Indústria** (CeMEAI), financiados pela FAPESP (proc. 2013/07375-0). 2013.

FERNANDES, A.L.T.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organo-minerais e químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.45-50, 2002.

FRIIS, H.T. A note on a simple transmission formula. **Proceedings of the IRE**, v.34, n.5, p.254-256, 1946.

HUFFORD, G. The ITS irregular terrain model, version 1.2.2 - **The Algorithm**. Disponível em: https://www.its.bldrdoc.gov/media/50676/itm_alg.pdf. Acesso em: 01 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário, 2006. In: **Sidra**: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, IBGE, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/Tabela/listabl.asp?c=861&z=p&o=2&i=P>. Acesso em: 11 mar. 2018.

LAMPERT, E.; BINELO, M.O.; CARVALHO, P. Automação de um pivô de irrigação utilizando smartphone. In: I SEMINÁRIO DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - Ciência da Computação - Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ). Cruz Alta, RS, 2017. Disponível em: <https://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/revistaeletronica/article/view/5398/>. Acesso em: 11 jul. 2019.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILG, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. (Ed.). **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Tradução de A. Schneider *et al.* Revisão técnica de H. Hasenack e E.J. Weber. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 540p., 2013.

MADALOSSO, E. **Sistema automatizado para irrigação de estufas**. 76p., 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia de Computação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

MASSRUHÁ, S.H.F.S.; LEITE, M.A.A. Agro 4.0 - rumo à agricultura digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, W.T.L.; VALE, J.M.F.; PURINI, S.R.M.; MAGNONI, M.G.M.; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, E.F.; FIGUEIREDO, W.S.; SEBASTIÃO, I. (Org.). **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade**: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. Ed. São Paulo: Centro Paula Souza, p.28-35, 2017. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1073150>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MAULE, R.F. **Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada**: aplicação em políticas públicas. 97p., 2019. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2019.

MAULE, R.F. **Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada**: aplicação em políticas públicas. 2020. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2020.

MEDEIROS, P.H.S. **Sistema de irrigação automatizado para plantas caseiras**, 2018. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Federal de Ouro Preto. João Montelevede. 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1199/1/MONOGRRAFIA_SistemaIrriga%C3%A7%C3%A3oAutomatizado.pdf. Acesso em: 10 mar. 2019.

- MOLISCH, A.F. **Wireless communications**. 2. Ed. John Wiley & Sons: Chichester, 2011.
- MORAES, M.J.; OLIVEIRA-FILHO, D.; MANTOVANI, E.C.; MONTEIRO, P.M.P.B.; MENDES, A.L.C.; DAMIÃO, J.H.A.C. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**: Jaboticabal, v.34, n.6, p.1075-1088, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v34n6/a05v34n6.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2019.
- NERYS, J.W.L.; OLIVEIRA, A.M.; MARRA, E.G.; OLIVEIRA, L.F.C.; ALVES, A.J.; MEDEIROS, A.M.M. **Sistema de irrigação microcontrolado**: automação e otimização do consumo de energia elétrica e água. Biblioteca Aneel. 2007. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it92.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- OKSANEN, T.; OHMAN, M.; MIETTINEN, M.; VISALA, A. Open configurable control system for precision farming. **Automation Technology for Off Road Equipment**, Proceedings. 2004.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. World population set to grow another 2.2 billion by 2050: UN survey. ONU, 2018. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2018/10/1023371>. Acesso em: 25 jul. 2019.
- PARRONCHI, P. **Os pioneiros do desenvolvimento e a nova agricultura 4.0**: desenvolvimento econômico a partir do campo. Disponível em: <https://sep.org.br/anais/Trabalhos%20para%20o%20site/Comunicacoes/141.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.
- PARSONS, J.D. **The Mobile Radio Propagation Channel**. 2. Ed. John Wiley & Sons: Chichester, 1992.
- PARSONS, J.D., **The Mobile Radio Propagation Channel**, 2. Ed. Chichester, England. John Wiley & Sons, Ltd., 2000.
- QUEIROZ, T.M.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Engenharia Agrícola**. v.28, n.1, p.44-54, Jaboticabal-SP. 2008.
- RIBEIRO, M.C. **Eficientização e gerenciamento do uso de energia elétrica em perímetros irrigados**. 178p., 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- SAYÃO, L.F. Modelos teóricos em ciência da informação - abstração e método científico. **Revista Ciência da Informação**, Brasília, v.30, n.1, p.82-91, 2001.
- SILVA, F.S.; CATELLI, F. Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, v.41, n.4, 2019.
- SILVA, S.P.; BIONDI, A. Internet em redes de alta velocidade: concepções e fundamentos sobre banda larga. In: **Caminhos para a universalização da Internet banda larga experiências internacionais e desafios brasileiros**. Intervezes coletivo Brasil de comunicação social. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.intervezes.org.br/arquivos/interliv008cpunibl.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- SPAROVEK, G.; DOURADO NETO, D.; BARRETTO, A.G.O.P.; MAULE, R.F.; ASSUNÇÃO, A.L.C. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Brasília, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Ministério da Integração Nacional. 2014. Disponível em: <http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/02/Fealq-An%C3%A1lise>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- SUDHA, M.N.; VALARMATHI, M.L.; BABU, A.S. Energy efficient data transmission in automatic irrigation system using wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, p.215-221, 2011.
- TELECO. 2019. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/areasc.asp>. Acesso em: 1 nov. 2017.
- TELTONIKA. 2018. Disponível em: <https://teltonika-iot-group.com/pt/>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp, Campinas, 213p. 2017.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: técnicas, usos e impactos. Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp, Campinas, 2014.

ZHANG, Z. Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture. ASAE **Annual International Meeting**. p.041154, 2004.

CAPÍTULO 15

15 AGRICULTURA IRRIGADA: ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO BRASIL

Mariane Crespolini dos Santos, Gustavo dos Santos Goretti, Frederico Cintra Belém, Liciane Alice Nascimento Peixoto e Lineu Neiva Rodrigues

Resumo

A população mundial chega a quase 8 bilhões de pessoas, com expectativa de totalizar 10 bilhões até 2050. Com isso, a FAO projeta uma demanda de 70% mais alimentos e 40% mais água. Além da crescente demanda por alimentos, a mudança do clima é outro desafio relevante, que exige boas estratégias do Estados Nacionais. No Brasil, a agricultura irrigada é uma tecnologia fundamental para o aumento da produção de alimentos, via aumento de produtividade, e também para promover uma agropecuária mais adaptada aos riscos climáticos. O Brasil tem o potencial de irrigar 55 milhões de hectares. Valor muito acima do cenário atual, de 8,2 milhões de hectares irrigados. Para concretizar o crescimento da agricultura irrigada com sustentabilidade, o Brasil precisará de políticas públicas adequadas ao contexto dos produtores rurais, condicionando positivamente o empreendedorismo da iniciativa privada. Novos modelos de gestão de recursos hídricos, aperfeiçoamento das legislações e investimentos em instrumentos aceleradores como o crédito, pesquisa, assistência técnica e gerencial serão fundamentais.

15.1 Introdução

Com 851,57 milhões de hectares, o Brasil é um dos maiores países em área do mundo. De acordo com o Censo Agropecuário, os estabelecimentos rurais ocupam uma área de 351 milhões de hectares, representando cerca de 41% do total do território (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). O País enfrenta o desafio de analisar e validar os dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR), para, de fato, detalhar o uso da terra no meio rural.

Existem disponíveis diversas bases que apresentam levantamentos sobre o uso da terra no meio rural. A análise dessas bases possibilita fazer diversas inferências. Por exemplo, a área ocupada pela produção agropecuária é dividida entre pastagem (nativa e plantada), agricultura (lavouras permanentes e temporárias) e florestas plantadas. A área de pastagem varia de 162 milhões de hectares a 180 milhões de hectares (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018; LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO, 2020).

A agricultura, incluindo lavouras temporárias e permanentes, ocupam uma área que varia de 61 a 66 milhões de hectares, a depender da base de dados. Desses, em mais de 20 milhões de hectares, há duas ou até três safras no ano. Cerca de 10 milhões são de florestas plantadas, onde mais de 75% é eucalipto. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

Essa breve contextualização exploratória dos números, demonstra que, ao considerar os valores mais altos de todas as bases consultadas, a área produtiva da agropecuária totaliza 256 milhões de hectares, 30% do território nacional. Comparando esses valores com os dados do Censo Agropecuário, de área ocupada pelos estabelecimentos rurais, mencionado

anteriormente, nota-se uma diferença de 11%. Uma porcentagem menor dessa diferença pode ser atribuída a infraestrutura (estradas, armazéns, etc.) e, uma porcentagem bem mais expressiva, as Áreas de Proteção Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL).

Mesmo sendo o país mais extenso do hemisfério sul, na década de 70 e 80, o Brasil importava alimentos essenciais da cesta básica. Nesse contexto, a trajetória de importador até as posições de liderança no comércio mundial de alimentos, fibras e energia produzidas pela agropecuária foi resultado de estratégias bem direcionadas, como investimento em pesquisa e inovação.

A inovação foi fundamental para os avanços expressivos em produtividade. Com poucas exceções, como trigo e leite, o Brasil organizou as cadeias produtivas, elevou a produtividade e deu um salto na produção.

Segundo o IBGE, no final da década de 70, a área destinada para a produção de grãos era de 37 milhões de hectares, onde se colhia basicamente 37 milhões de toneladas. Uma proporção de 1 por 1 (um milhão de toneladas para cada um milhão de hectares).

No último ano safra, 2019/2020, foram produzidas 241 milhões de toneladas de grãos, em 63 milhões de hectares. Ou seja, uma produtividade de 3,8 milhões de toneladas para cada 1 milhão de hectares colhidos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

A agricultura irrigada foi fundamental nesse contexto, já que a produtividade em áreas irrigadas chega a ser quatro vezes superior às da área de sequeiro (POSTEL, 2000). O protagonismo dessa tecnologia pode ser maior.

Em 2020, o Brasil irrigou 8,2 milhões de hectares, apenas 3% da área produtiva ocupada pela agropecuária no Brasil. Estudo recente da Esalq/USP demonstra que o potencial é de 55 milhões. Entre os dois cenários, há um longo caminho, complexo e também cheio de oportunidades para o Estado brasileiro.

Neste breve contexto, este capítulo tem como objetivo discutir a agricultura irrigada no contexto das estratégias e desafios para a promoção do desenvolvimento sustentável do Brasil para as próximas décadas.

15.2 Tendências globais e o planejamento necessário

A população mundial já atinge quase 8 bilhões de pessoas. Para 2050, a expectativa é que haja quase 10 bilhões de pessoas no mundo, podendo chegar a mais de 12 bilhões até 2100, conforme ilustra a Figura 1 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2019). Mesmo que o ritmo do crescimento apresente tendência de redução com o passar dos anos, os Estados Nacionais estão preocupados com o cenário futuro.

No cenário acima mencionado, a maior concentração populacional será nos países em desenvolvimento, em especial na Ásia e África. Entre muitos dos desafios, encontra-se a segurança alimentar e do alimento. Mesmo nos dias atuais, 690 milhões de pessoas sofrem por insegurança alimentar (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2020) e vivem com menos de 2230 quilocalorias por dia (DIVISÃO DE ESTATÍSTICA, 2014).

O cenário atual e também as projeções futuras demonstram que os países precisam estabelecer boas estratégias para promover o desenvolvimento sustentável. Uma coisa é fato: existe uma lacuna imensa entre a quantidade de alimentos produzidas hoje e a quantidade necessária para 2050, principalmente se for considerado as diversas pressões, como, por exemplo, as mudanças climáticas, que recaem sobre a agricultura.

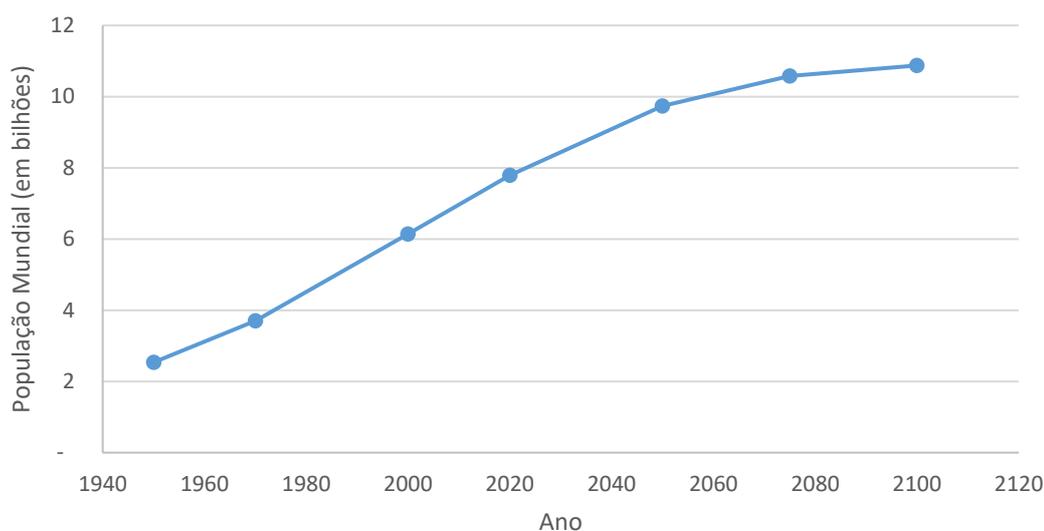


Figura 1. Crescimento populacional no mundo, 1940 aa 2120 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2019).

Com base em 2005, estima-se que serão necessários 70% mais alimentos e 40% mais água até 2050. Essa projeção envolve não apenas o aumento da população, mas também a melhora de renda (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2012).

O mundo precisa se preparar para esse futuro. É necessário garantir a segurança alimentar, com uso eficiente dos recursos naturais. Para evitar que as áreas produtivas avancem em áreas de vegetação nativa, fundamentais para a preservação da biodiversidade e outros recursos naturais, os países terão que investir em tecnologias de produção.

Essas tecnologias, ou mesmo modelos produtivos, precisam, além de garantir segurança alimentar, solucionar outro desafio global: o das mudanças climáticas. Essas duas tendências, segurança alimentar e mudança do clima, andam juntas.

Para a África, por exemplo, com as tecnologias atuais, estima-se que o aumento da temperatura possa reduzir em 20% o período entre o plantio e colheita de grãos. Seja na África ou em qualquer outra área do mundo, a produção agropecuária é a mais sensível às oscilações de temperatura. Ao mesmo tempo, diversas pesquisas já demonstram o potencial de sequestro de carbono pela agropecuária bem manejada.

Muitos países já adotam e estão impulsionando suas estratégias para um cenário de maior demanda por alimento e também com desafios relacionados à mudança do clima. Investimentos em pesquisa para o desenvolvimento de variedades mais resistentes, e ações voltadas à conservação de solo e água, entre outras.

Um exemplo é o Plano ABC (Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura). Essa importante política pública completou dez anos em 2020, com mais de 50 milhões de hectares adotando as tecnologias preconizadas em 2010, como a recuperação de pastagens degradadas, a Integração Lavoura Pecuária-Floresta (ILPF) em suas diferentes combinações, o sistema plantio direto e outras (MANZATTO *et al.*, 2020; LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO, 2020).

Já em 2010, o Plano ABC tinha como um dos programas componentes a adaptação à mudança do clima. Em 2021, o Mapa lançou o ABC+, onde a importância de uma agropecuária mais adaptada ao risco climático ganhou ainda mais força, além de outras bases conceituais

importantes, como a Abordagem Integrada da Paisagem (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2021).

A agricultura irrigada é uma tecnologia fundamental em um cenário onde a agricultura de sequeiro será cada vez mais afetada pelas mudanças climáticas. Atualmente, a agricultura irrigada ocupa 20% das terras cultiváveis do mundo. No Brasil essa proporção é de apenas 3%. No mundo, 40% da produção de alimentos conta com a tecnologia da irrigação. Na produção de cereais estes números são de 40% da área colhida e 60% da produção (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2012). Novamente, olhando para as estratégias de futuro, a FAO projeta que, até 2050, mais de 50% dos alimentos sejam produzidos em sistemas irrigados.

China e Índia são os países com maior área irrigada, conforme pode ser visualizado na Figura 2. Eles irrigam 69,9 e 70,4 milhões de hectares, respectivamente, o que é equivalente a 40% do total mundial (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GLOBAL DA SOBRE ÁGUA E AGRICULTURA, 2017). Os Estados Unidos também estão na lista de grandes irrigantes e respondem por 8%. Somente os estados de Nebraska e Califórnia irrigam juntos o equivalente a 81,7% da área total irrigada no Brasil.

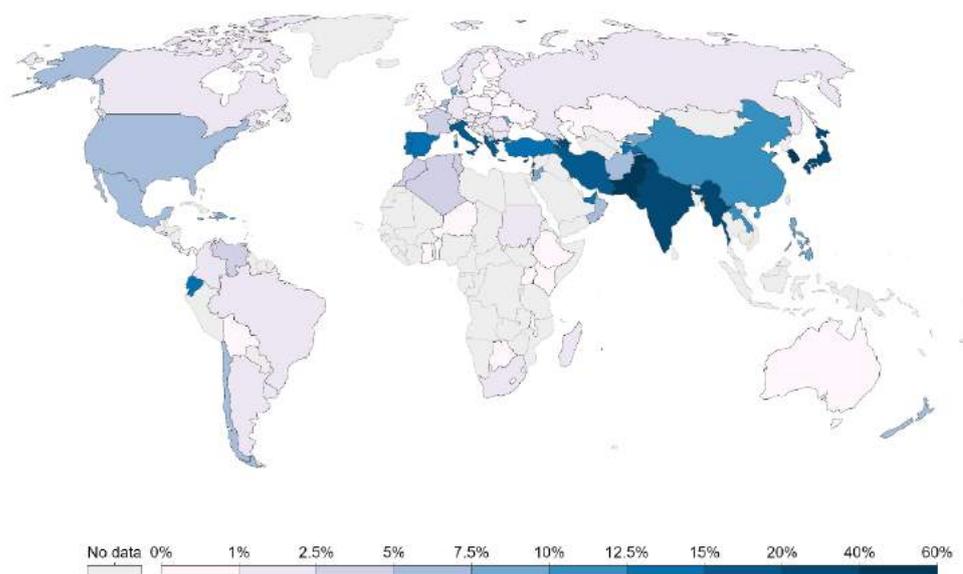


Figura 2. Distribuição das áreas irrigadas (NOSSO MUNDO EM DADOS, 2015).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), o potencial de irrigação é definido como a extensão de terra adequada para irrigação e com água suficiente disponível. Este indicador é usado para medir quão próximos os países estão de atingirem sua máxima extensão de área irrigada.

Muitos destes grandes países irrigantes encontram-se em processo de desaceleração ou mesmo próximo ao limite de expansão de suas áreas irrigadas.

Na China, por exemplo, a área potencial já equipada para irrigação é de 99,8%. Os Estados Unidos atingiram a marca de 100% da área sob gestão hídrica (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, 2017). Em cenários como este, aumentos adicionais de áreas irrigadas só é possível por meio do desenvolvimento de infraestruturas hídricas ou pelo aumento da eficiência de seus sistemas. O Paquistão mantém a área potencial já equipada para irrigação em 93,85% desde 2012. Já a Índia já ultrapassa os 50% da sua área potencial.

Nesse cenário, não é por acaso que o Brasil também é apontado pela FAO como a região onde há maior potencial de crescimento da produção, tema que será melhor abordado na sequência.

15.3 Estratégias brasileiras para garantir a segurança alimentar

Como comentado no início deste capítulo, o Estado brasileiro vem investindo há décadas em políticas de incentivo à intensificação sustentável da produção agropecuária. Por intensificação sustentável, entende-se o aumento da produção pecuária e agrícola, associado à um uso mais eficiente dos recursos naturais, resultando também em maior retorno econômico. O conceito implica também no processo da intensificação não causar degradação do solo e da água e aos ecossistemas (PRETTY; BARUCHA, 2014).

Um bom exemplo disso é a produção de milho no Brasil. Conforme ilustrado na Figura 3, no início da década de 2000, a quantidade de milho colhido na primeira safra equivalia à quase 85% do total produzido no ano. O milho da segunda safra, também conhecida como "safrinha", era pouco mais que 15%.

Os investimentos em variedades mais adaptadas, além de manejo diferenciado para cada região e época do ano, mudaram totalmente o cenário. Em 2019, de acordo estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020), a segunda safra de milho representou mais de 70% da produção. Isso é um exemplo claro de intensificação sustentável. O Brasil utilizando com mais eficiência a mesma área produtiva.

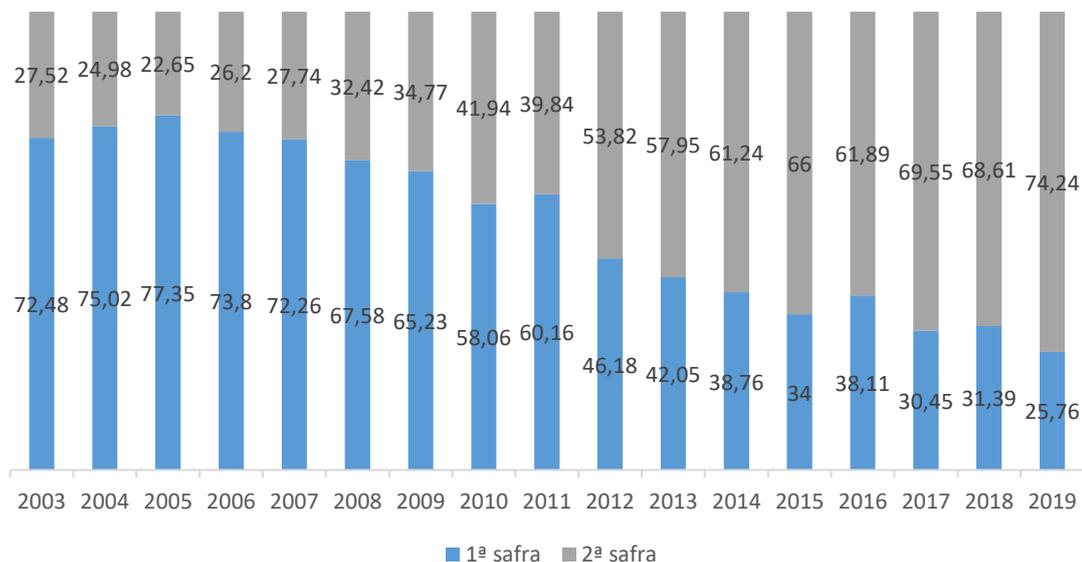


Figura 3. Produção de milho no Brasil e a distribuição entre primeira e segunda safra, 2003 a 2019 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

O exemplo da cadeia do milho é um dos inúmeros exemplos que poderiam ser discutidos sobre a estratégia brasileira. Considerando outras cadeias, a agropecuária cumpre com um papel muito importante: a de redução dos preços dos alimentos, conforme ilustrado na Figura 4.

Comparativamente à década de 70, já tirando os efeitos da inflação e das sucessivas trocas de moeda, a cesta básica hoje é quase a metade do preço. Para um País, onde mais da metade da população vive com um salário mínimo, essa é uma contribuição expressiva da

agropecuária para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017).

A agricultura irrigada é uma tecnologia fundamental nesse sentido, ao permitir uma oferta mais constante de alimentos ao longo do ano e também, como já mencionado, como adaptação à vulnerabilidade climática. O cultivo em sequeiro retira do solo a água para suas necessidades e, ocasionalmente, das chuvas que ocorrem em sua região, dessa forma, ele é mais dependente das condições climáticas locais.

Essa é um dos principais motivos do crescimento da agricultura irrigada no país. Ela fez aumentar a segunda safra, anteriormente chamada de "safrinha" e até mesmo proporciona a terceira safra de várias culturas. Ela ajudou o país a atingir a posição de suficiência no abastecimento interno e ir além, até a posição de importante exportador de alimentos para o resto do mundo.

A irrigação compõe a mesa do brasileiro. Alimentos típicos da dieta nacional como arroz, feijão, legumes, verduras e frutas são produzidos majoritariamente por meio da irrigação. Este índice ultrapassa os 90% no caso da produção da horticultura e do arroz (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

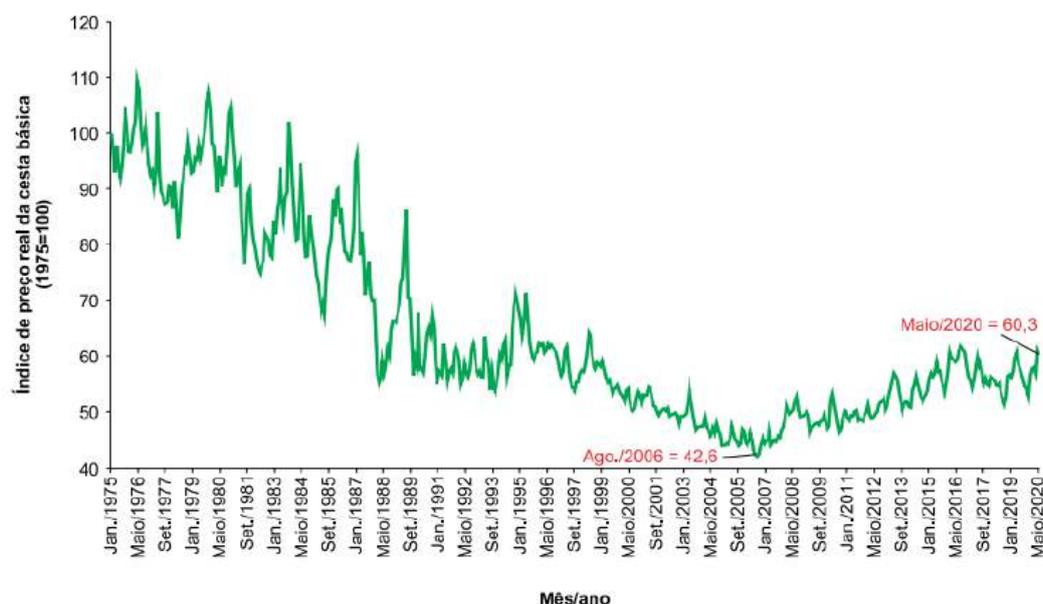


Figura 4. Índice de preço real da cesta básica (MARTHA JÚNIOR, 2020).

O arroz tem um papel protagonista entre as culturas irrigadas, ele ocupa uma área de 1,67 milhões de hectares. O arroz irrigado apresenta rendimento de até 3,7 vezes maior em comparação ao arroz produzido em áreas de sequeiro (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021). Segundo a ANA, entre os anos de 2014 e 2018, o arroz de sequeiro rendeu em média 2.134 kg ha^{-1} e o irrigado 7.403 kg ha^{-1} . Tendo as áreas de sequeiro representado 25% da área e apenas 10% da produção, enquanto o arroz irrigado tem concentrado 75% da área total e 90% da produção.

Como as projeções internacionais apontam para uma demanda crescente e exponencial de alimentos, é lógico que países que já atuam suprindo o comércio internacional atuem implementando técnicas, tecnologias e insumos para atender esta demanda. Intensificar a agricultura através da irrigação é uma maneira eficiente de agregar valor às commodities e verticalizar sua produção sem descaracterizar suas cadeias, pois a produção irrigada apresenta maior valor agregado (maior qualidade e culturas proporcionalmente mais rentáveis) (BRASIL,

2021). A técnica permite a otimização no uso de insumos e equipamentos, redução de custos unitários, redução de riscos climáticos e meteorológicos.

O feijão, outro alimento essencial e presente diariamente na dieta de milhões de brasileiros, ainda é produzido majoritariamente em sequeiro (primeira e segunda safras). Porém, tal como em outras culturas como a soja, a irrigação é essencial à produção de feijão nos períodos secos de suas regiões produtoras.

A terceira safra de feijão ocorre em grande parte sob irrigação. Ela alcançou 20% da área plantada de feijão no Brasil em 2019/2020, respondeu por 27,18% da produção e apresentou melhor produtividade em relação às outras safras, 1496 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020).

A produção de frutas também tem sido bastante expressiva na agricultura irrigada, a fruticultura e a horticultura são as atividades proporcionalmente mais irrigadas – de 70 a 90% de sua área cultivada é irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

A fruticultura tem sido fundamental para a economia brasileira, com grande impacto no desenvolvimento regional de áreas como o Nordeste. O Brasil é um dos principais exportadores de frutas e grande parte delas é cultivada de forma irrigada. Segundo a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (Abrafrutas), a fruticultura irrigada gera 2,5 empregos por hectare (MALISZEWSKI, 2020).

15.4 Potencial de crescimento da agricultura irrigada

Dos 8,2 milhões de hectares irrigados pelo Brasil, 96,2% referem-se a áreas privadas, onde o agricultor é o proprietário de suas terras e implanta seu sistema de irrigação. Os 3,8% restantes são áreas de projetos públicos de irrigação, onde o governo implanta as infraestruturas e sistemas de irrigação em um território estratégico para o desenvolvimento da região. Nessa área pública, são gerados 580 mil empregos diretos e indiretos, através de 79 projetos, instalados em 88 municípios (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Muitos fatores devem ser considerados o potencial de expansão da irrigação. Segundo a Esalq, a área adicional irrigável – AAIs no Brasil, são áreas com disponibilidade hídrica para adoção da irrigação e que ainda não são irrigadas atualmente, considerando primordialmente fontes hídricas superficiais e depois de fontes subterrâneas.

As AAIs são divididas em áreas de intensificação, onde há a agricultura de sequeiro e onde a produtividade pode aumentar se irrigada e as áreas de expansão são aquelas onde atualmente se encontram pastagens consolidadas. Os resultados são do potencial de intensificação em 26,69 Mha (mais de 90% localizados no eixo centro-sul do país) e de expansão em 26,72 Mha (cerca 40% localizado na Região Norte). Além disso, o estudo aponta que o Brasil apresenta cerca de 2,4Mha de área adicional irrigável com base na água subterrânea disponível (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020).

Prioritariamente, considera-se como potencial efetivo de expansão, aquelas áreas com aptidão média/alta em termos de altitude, declividade, drenagem, aptidão agrícola (condições edafoclimáticas), solo (propriedades físico-hídricas, sistemas de manejo e conservação, fertilidade), relevo (declividade), infraestrutura (rodoferroviária, rede elétrica apropriada, capacidade de armazenamento), excluindo as áreas ambientalmente protegidas.

Nesse sentido, a Esalq/USP realizou um diagnóstico do potencial de incremento de área irrigada no País, criando um índice chamado área adicional irrigável, que mostra que é possível melhorar os números da irrigação no Brasil utilizando-se de áreas com potencial para irrigação contidas em áreas de sequeiro, pastagem, silvicultura e até mesmo em certas áreas de

vegetação nativa, porém sem interferir em áreas de proteção pública e privada, cidades, massas d'água, infraestrutura, áreas de preservação permanente (APPs) ou áreas de Reserva Legal.

Denominou-se área de intensificação, as áreas que fazem agricultura de sequeiro e tem a possibilidade de se tornarem áreas irrigadas por existir potencial hídrico, áreas irrigadas já predominantes nesses territórios e ter alta e média condição de infraestrutura (energia, transporte e armazenamento).

Chamou-se de área de expansão as que tem a possibilidade de conversão do uso da terra de pastagem para agricultura irrigada e que possuem as mesmas características das áreas de intensificação). O interessante em se destacar é as áreas adicionais irrigáveis são áreas antropizadas, que realizam a produção agropecuária, e não haverá a necessidade de abertura de novas áreas (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020).

A áreas de intensificação (8.083.594 hectares) e expansão (7.535.546 hectares) (Figura 5) totalizam cerca de 15,5 milhões de hectares que teriam maior facilidade para a implantação da produção irrigada no País e impulsionar a produtividade nesses territórios.

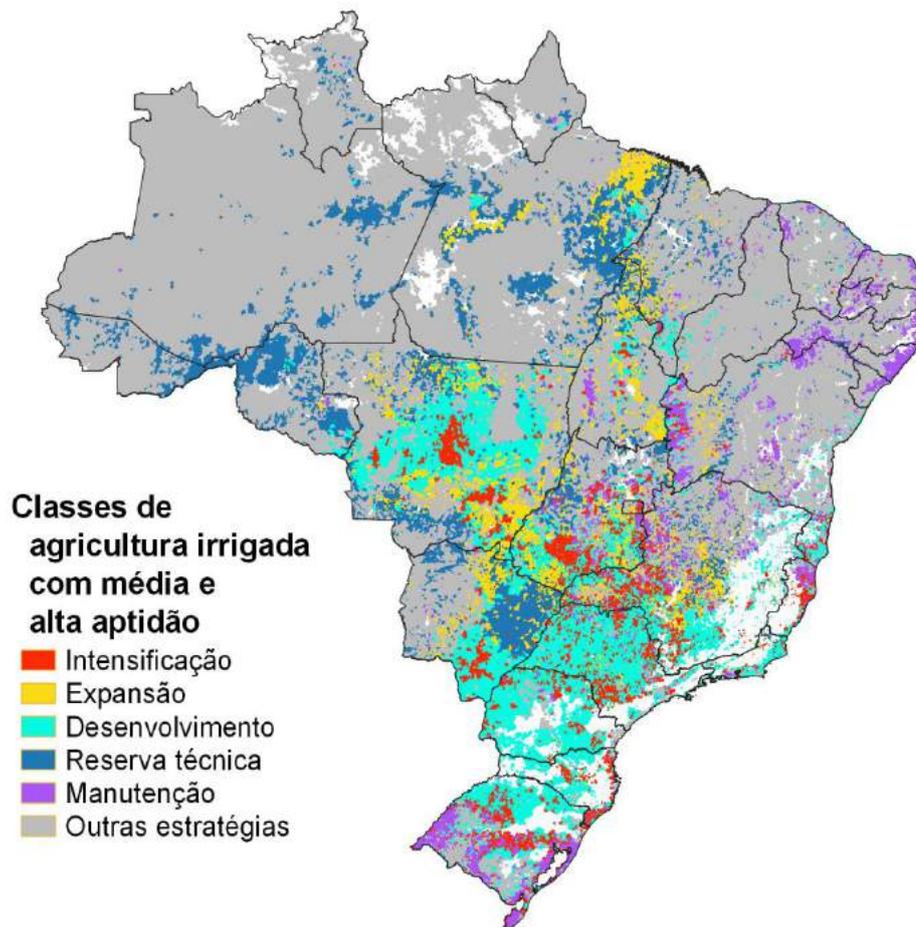


Figura 5. Mapeamento das regiões de média e alta aptidão para agricultura irrigada, por classe (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020).

Essas classificações permitem um melhor planejamento do governo federal e execução de suas ações, no sentido de priorizar as áreas que estão mais próximas de se tornarem irrigadas. Apesar do grande potencial existente, o Estado brasileiro necessita priorizar os territórios a serem trabalhados para que não haja uma dispersão de esforços e poucos resultados.

Acredita-se que na medida em que essas novas áreas expandam em agricultura irrigada, muitos benefícios venham a reboque dessa expansão, como a atração de serviços, empresas de máquinas e equipamentos, empresas de tecnologia, de insumos agrícolas, entre outros.

E da mesma forma que muitos benefícios são gerados com essa expansão, necessitam-se trabalhar, em paralelo, o aperfeiçoamento dos modelos de gestão e monitoramento dos recursos hídricos, para que possa otimizar o uso da água entre os irrigantes e outros usuários.

Além disso, a implantação de agricultura irrigada nessas regiões vem ao encontro das Políticas do Plano ABC, pelo fato de que a produção agropecuária irrigada será realizada em áreas de pastagens atualmente degradadas, contribuindo com a redução na emissão de carbono.

Como a irrigação é uma das técnicas de último grau de intensificação, as práticas de conservação do solo e da água obrigatoriamente serão realizadas nas futuras áreas irrigadas.

15.5 Mitos e verdades

Um dos entraves para o crescimento da agricultura irrigada ainda é a falta de informação e divulgação de muitos mitos. Segundo Rodrigues (2020) a projeção é que até 2050 as retiradas para fins de irrigação cresçam 10%, o que deve trazer ainda mais mídia negativa para o setor. Neste sentido, é essencial que alguns pontos críticos sobre agricultura irrigada sejam discutidos e esclarecidos.

A maior parte da água usada na agricultura irrigada é retirada de fontes superficiais e, por conta disto, dependente do regime de chuvas. Assim sendo, em muitos locais faz-se necessária a construção de barragens para o armazenamento hídrico para períodos de estiagem (RODRIGUES, 2020).

O que deve ser feito considerando todos os usuários de recursos hídricos da mesma bacia hidrográfica, a fim de que todas as necessidades sejam atendidas e respeitadas, com o dimensionamento correto, seguido bom um bom e coletivo gerenciamento (o que pode ser alcançado com o auxílio dos comitês de bacia e polos de irrigação). Seguindo este trâmite, a construção de tais barragens deve ser caracterizada como de interesse social, o que deve ser atrelado ao licenciamento ambiental simplificado.

Atualmente a agricultura irrigada apresenta eficiência de 70% a 90%, pois o desperdício não é interessante ao produtor. As técnicas envolvidas na irrigação são avançadas e o desperdício gera gastos desnecessários de insumos como energia elétrica e baixas produtividades. Ele pode acontecer, principalmente, pelo uso inadequado da tecnologia, o que pode e deve ser resolvido com capacitação para os produtores. Aliada a técnicas como o plantio direto, que favorece a infiltração de água no solo, recarga dos aquíferos e aumento das vazões mínimas atua de em favor da reservação de água (RODRIGUES, 2020).

15.6 Desafios e estratégias para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada

15.6.1 Barramentos

A competição pela água entre os usos urbanos, industriais e ambientais exigirá maior emprego e ganhos cada vez maiores em eficiência na agricultura irrigada, isso demandará investimentos na modernização dos sistemas e maquinário utilizado, entre outros, a fim de equalizar a demanda por alimentos, gerando e, se possível, reduzindo conflitos de ordem hídrica.

Da mesma forma, é essencial garantir suprimento de água para a expansão e intensificação da tecnologia através de barramentos. O armazenamento da água do período chuvoso em barragens para seu uso ao longo do ano é a maneira mais segura de garantir a disponibilidade de água e é parte crucial no suprimento de água para os sistemas de irrigação. No entanto, as dificuldades enfrentadas no licenciamento ambiental para a construção de barragens representam um grande entrave para o crescimento da área irrigada no Brasil.

Nesse sentido, necessita-se de um normativo a ser emitido pelo Estado brasileiro, para caracterizar a construção dos barramentos como de interesse social e/ou interesse público, possibilitando assim, que os barramentos sejam construídos em regiões estratégicas, e respeitando-se a legislações existentes referente a segurança de barragens e composição de área de preservação permanente ao redor dos barramentos.

Destaca-se, que a construção de barramentos não traz impactos negativos ao meio ambiente, desde que respeitadas as legislações vigentes, e permite que a produção de alimentos seja realizada ao longo de todo ano, melhorando a oferta de alimentos que são produzidos, principalmente, só com irrigação (hortifrutigranjeiros), além de reduzir os conflitos entre os usuários em bacias mais exploradas.

15.6.2 Licenciamento ambiental

Atualmente, a ausência de Lei Federal que trata do licenciamento ambiental no País, gera repercussão negativa nas legislações estaduais, com pouca ou nenhuma padronização nas normas, ocasionando insegurança jurídica para empreendedores.

Os critérios e prazos para o licenciamento ambiental da atividade agropecuária estão definidas na Resolução Conama 237, de 19 de dezembro de 1997 e adicionalmente, a norma federal que trata do licenciamento ambiental para a irrigação é a Resolução Conama 284, de 30 de agosto de 2001, a qual traz que empreendimentos de irrigação em áreas superiores a 50 ha é altamente impactante ao meio ambiente. E, ainda, para a prática de irrigação é necessário que seja expedida a outorga de direito de recursos hídricos.

Então, para que um agricultor se torne irrigante no Brasil é preciso que ele atenda aos critérios de três normativos, o que gera um caminho longo para que ele tenha a autorização para irrigar.

O Estado brasileiro tende a aperfeiçoar seus mecanismos de regulação e licenciamento e nesse sentido, acredita-se que a Resolução Conama 284/01, traz uma exigência que já está sendo cumprida pela Resolução Conama 237/97.

A produção irrigada é a mesma produção de sequeiro. O que diferencia as duas é a forma como a água chega ao solo e as plantas. Entende-se, então, que o licenciamento exigido na Conama 237/97, para atividade agropecuária, se estende a produção irrigada, já que para esta exige-se a outorga, outro licenciamento, que regula a quantidade de água azul a ser usada pelo produtor.

Além disso, a Resolução Conama 284/01, possui um vício de origem, uma vez que erra ao considerar a irrigação como um empreendimento. Na verdade, a literatura sempre defendeu que a irrigação é uma ferramenta de produção, é uma técnica, um método de aplicação de água utilizada na agropecuária.

Segundo o Manual de Irrigação Bernardo *et al.* (2006), "a irrigação é uma técnica milenar que nos últimos anos tem-se desenvolvido acentuadamente". E segundo a Embrapa Semiárido, "a irrigação é uma técnica milenar que tem como finalidade disponibilizar água às plantas para que estas possam produzir de forma adequada" (BRAGA; CALGARO, 2010).

Destaca-se que na Câmara dos Deputados está em tratativa o Projeto de Lei (PL) 3729/2004, que estabelecerá o marco regulatório para o Licenciamento Ambiental no Brasil, que irá trazer disposições atualizadas e mais adequadas as condições da agropecuária brasileira.

15.6.3 Outorga

A outorga de direito de uso de recursos hídricos (outorga) é um dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos, instituída pela Lei 9.433/1997. O objetivo da outorga é assegurar o controle quantitativo e qualitativo das águas além de garantir que o acesso à água e que os usos sejam compatíveis com a disponibilidade hídrica, feita majoritariamente por entes estaduais.

Ela usualmente respeita a ordem cronológica dos pedidos de outorga e também o balanço hídrico da região. Cada entidade possui um sistema e metodologia de cálculo, porém todas necessitam assegurar as vazões de referência do corpo hídrico a ser outorgado como a Q_{7,10} (vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência, indicando uma probabilidade de 10% de ocorrer valores menores ou iguais a este em qualquer ano) e a Q₉₀ (referência que indica que as vazões são maiores ou iguais a ela durante 90% do tempo).

As outorgas são expeditas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no âmbito federal, e pelos órgãos ambientais dos Estados, quando o instrumento é solicitado pelo produtor.

O tempo de análise e liberação das outorgas é um dos principais gargalos existentes para o início da produção irrigada. Há situações em que o produtor aguarda cerca de três a quatro anos para obter uma resposta. Entretanto, a ANA e alguns Estados da Federação automatizaram os processos de análise de outorga, fato este que melhorou muito a sistemática de concessão do instrumento. Os estados que ainda não automatizaram seu sistema de concessão de outorga e possuem alta demanda, estão no caminho de sistematizá-lo.

Na medida em que as áreas irrigadas foram crescendo e as disputas pelo uso da água/outorga aumentaram, foi preciso utilizar estratégias de gestão de recursos hídricos mais modernas, que se adequem melhor à nova realidade.

A outorga (coletiva e sazonal) é uma dessas estratégias, que, se aplicada juntamente com a gestão compartilhada, pode contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, reduzindo as disputas pelo uso de água.

No tocante às outorgas coletivas, parte-se do princípio de que um órgão ou entidade que tem um bom domínio e conhecimento da bacia e interação com todos os usuários, faça a alocação da água entre os usuários naquele determinado trecho da bacia.

Entretanto, ainda é necessário evoluir no modelo de gestão e monitoramento nas bacias para o melhor acompanhamento e distribuição da água entre os usuários. Alguns Estados da Federação estão avançando nessa modelagem, a exemplo do estado de Minas Gerais que regulamentou a outorga coletiva no ano de 2020.

O modelo de outorga sazonal preconiza o uso de uma maior quantidade de água (mais outorgas) no período em que há maiores precipitações e conseqüentemente maiores vazões nos corpos hídricos. Assim, potencializa-se o uso da água nesses períodos e aumenta-se a área irrigada sem prejuízo à bacia e os demais usuários.

A outorga Sazonal permite que os agricultores aumentem a prática da "irrigação de salvamento", termo utilizado entre os agricultores irrigantes, que preconiza a aplicação de uma lâmina de água quando ocorre pequenos interstícios sem precipitação, mesmo no período chuvoso. Quando ocorre esse "salvamento" possibilita-se que as culturas apresentem sua

maior resposta produtiva, permitindo que os agricultores invistam com segurança em insumos (sementes, adubos, etc.) em quantidade e qualidade, pois o retorno é praticamente garantido.

15.6.4 Infraestrutura

A irrigação é uma prática dependente de uma fonte de energia para alimentar os equipamentos que levam a água dos mananciais hídricos até a área pretendida para produção. Atualmente, as fontes de energia que alimentam os conjuntos motobombas podem ser a combustível (Diesel), mas preferencialmente usa-se a energia elétrica, por ser mais barata.

Mesmo tendo um custo inferior aos combustíveis, a energia elétrica representa um valor relevante no custo de produção das culturas e em alguns casos ultrapassa os 20% desses custos totais, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Custo de energia sem os descontos do subsídio rural (V: valor da energia - 30% de desconto, C₁: custo dos insumos, C₂: custos de produção total, E₁: energia em 2019 - 24% de desconto, E₂: energia em 2020 - 18% de desconto, E₃: energia em 2021 - 12% de desconto, E₄: energia em 2022 - 6% de desconto, e E₅: energia em 2023 - sem desconto) (LAGE, 2020).

Cultura	V	C ₁		C ₂		E ₁		E ₂		E ₃		E ₄		E ₅	
		Valor	%												
Feijão	594,00	3.911,24	15%	4.403,24	13%	644,91	15%	695,83	16%	746,74	17%	797,66	18%	848,57	19%
Alface Aspersão	642,00	7.381,58	9%	20.821,56	3%	697,03	3%	752,06	4%	807,09	4%	862,11	4%	917,14	4%
Banana	540,00	8.138,05	7%	17.448,05	3%	586,29	3%	632,57	4%	678,86	4%	725,14	4%	771,43	4%
Uva	560,70	34.031,23	2%	62.251,23	1%	608,76	1%	656,82	1%	704,88	1%	752,94	1%	801,00	1%
Tangerina	675,00	2.977,81	23%	7.667,81	9%	732,86	10%	790,71	10%	848,57	11%	906,43	12%	964,29	13%
Quiabo	1.048,05	5.641,49	19%	17.501,49	6%	1.137,88	7%	1.227,72	7%	1.317,55	8%	1.407,38	8%	1.497,21	9%
Feijão Verde	407,25	3.035,55	13%	10.315,55	4%	442,16	4%	477,06	5%	511,97	5%	546,88	5%	581,79	6%
Batata-doce	992,70	2.490,92	40%	7.110,92	14%	1.077,79	15%	1.162,88	16%	1.247,97	18%	1.333,05	19%	1.418,14	20%
Berinjela	1.052,10	8.646,95	12%	23.796,95	4%	1.142,28	5%	1.232,46	5%	1.322,64	6%	1.412,82	6%	1.503,00	6%
Beterraba	450,00	6.360,00	7%	13.850,00	3%	488,57	4%	527,14	4%	565,71	4%	604,29	4%	642,86	5%
Chuchu	1.027,80	7.024,62	15%	19.819,62	5%	1.115,90	6%	1.203,99	6%	1.292,09	7%	1.380,19	7%	1.468,29	7%
Goiaba	810,00	3.602,73	22%	9.412,73	9%	879,43	9%	948,86	10%	1.018,29	11%	1.087,71	12%	1.157,14	12%
Limão	810,00	4.541,63	18%	10.351,63	8%	879,43	8%	948,86	9%	1.018,29	10%	1.087,71	11%	1.157,14	11%

Para atender a demanda dos agricultores irrigantes é necessário a existência de um ponto de conexão trifásico próximo ao empreendimento para que a implantação de grandes e médios projetos de irrigação seja possível (ASSUNÇÃO, 2017).

Caso a distância entre o empreendimento rural e o ponto de distribuição da rede trifásica seja muito grande, a implantação/expansão de projetos de irrigação pode ser inviável ao produtor. É comum que os órgãos estaduais gestores de águas não emitam outorgas preventivas, que não dão direito ao uso do recurso hídrico, mas atuam como reservação de água, enquanto os produtores buscam assegurar o fornecimento de energia elétrica.

As redes de distribuição trifásicas existentes não são suficientes para suportar a área potencial irrigável existente (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020). Este fato é um dos principais gargalos existentes para o avanço da irrigação no país.

Nesse sentido, o governo federal pretende executar ações de identificação de áreas de expansão em agricultura irrigada, e que necessitam de um suporte nas redes de distribuição e melhoria de carga, e assim potencializar a instalação de infraestrutura elétrica nesses territórios. Acredita-se que esse suporte do governo federal irá acelerar a implantação de novas áreas irrigadas e melhorar as condições de áreas já implantadas, propiciando aos agricultores irrigantes a instalar seus equipamentos de irrigação e modernizar os seus sistemas.

Além disso, é importante criar ações de incentivo à implantação de energia renovável, principalmente a solar. A elaboração de uma modelagem que consiste na construção de usinas de energia solar em regiões estratégicas, em parceria com associações de irrigantes, conforme preconiza a Política Nacional de Irrigação, é de extrema importância. Essa estratégia visa levar energia elétrica para regiões com alto potencial de expansão de áreas irrigadas e que estão mais distantes de linhas de distribuição e em regiões que tem problemas de carga de energia. Pretende-se, também minimizar os impactos dos altos preços das tarifas de energia elétrica por meio da implantação destas usinas, possibilitando a sustentabilidade financeira dos agricultores irrigantes.

15.6.5 Crédito e Ater

O crédito rural e a assistência técnica e extensão rural (Ater) são instrumentos da Política Nacional de Irrigação e se mostraram muito importantes para a consolidação da irrigação na agricultura brasileira.

Dentre as políticas de crédito do Mapa, contempla-se o Programa de Incentivo à Irrigação e à Produção em Ambiente Protegido – Moderinfra, que financia os investimentos relacionados com todos os itens inerentes aos sistemas de irrigação, inclusive infraestrutura elétrica e para a construção do reservatório de água.

Observou-se, ao longo do tempo, que as taxas de juros dos financiamentos tiveram uma relação direta no crescimento da área irrigada. Conforme gráfico abaixo (Figura 6), pode-se verificar este fato, destacando-se o ano de 2013, onde foram concedidas condições diferenciadas para acesso ao crédito e que impactou positivamente no acréscimo das áreas irrigadas.



Figura 6. Variação do crescimento da área irrigada no Brasil em função da taxa de juros das linhas de crédito (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2019).

Outro incentivo referente ao crédito rural existente são as linhas de crédito específicas para agricultura irrigada, financiadas pelos Fundos Constitucionais de Financiamento, criados para fomentar o desenvolvimento das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil. As taxas de juros são as mais baixas do mercado e contemplam agricultores familiares por meio do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf).

Além desses, existe também um incentivo fiscal do Governo Federal, coordenado atualmente pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) Irrigação, que é um instrumento criado para estimular projetos privados de irrigação e suspende a exigência da contribuição para o PIS/Pasep (1,65%) e Cofins (7,6%), reduzindo em até 9,25% os custos para a execução do projeto de irrigação, como a contratação de serviços e a compra de materiais e equipamentos. O REIDI foi instituído pela Lei 11.488, de 15 de julho de 2007, regulamentada pelo Decreto 6.144, de 3 de julho de 2007 e alterações posteriores.

Com o intuito de potencializar a agricultura irrigada na região Nordeste do País, no ano de 2021, o governo federal, por meio do Mapa, lançou o Programa de Fomento à Agricultura Irrigada no Nordeste – PROFINOR, para a promoção do desenvolvimento sustentável da Região Nordeste, norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo. O objetivo do programa é realizar o suporte ao agricultor irrigante que acessa as linhas de crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste – FNE, por meio da Ater.

A assistência técnica ao pequeno produtor rural e o produtor rural familiar que contrataram o financiamento por meio do FNE é importante para profissionalizar os trabalhos iniciais dos agricultores nos aspectos agrônômicos, na implantação e operação dos equipamentos das culturas irrigadas, nos aspectos de gerenciamento econômico da propriedade e na comercialização da produção.

Assim, com a concessão do crédito aliado à Ater, aumenta-se a possibilidade de sucesso do agricultor, melhorando seu planejamento e execução da produção irrigada e propiciando a sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

O governo federal vem trabalhando para cada vez mais aperfeiçoar as suas linhas de crédito para atender os agricultores irrigantes e na proposta do Plano Safra 2020/2021, solicitou-se a inclusão de novas “modalidades” para irrigação.

Apesar da existência desses incentivos, na prática observa-se que o produtor rural ainda trabalha, na grande maioria, com recursos próprios. Muitas vezes o acesso ao crédito é dificultado por exigências que o agricultor não pode atender naquele momento, como a regularização fundiária. Em outras situações, exigências de garantia bancária ou a própria dificuldade do produtor se relacionar com as instituições financeiras, dificultam o acesso ao crédito.

15.7 Considerações finais

A agricultura irrigada é uma estratégia tecnológica fundamental para que o Brasil se consolide como uma potência AgroAmbiental, como sempre destaca a Ministra Tereza Cristina. Com uma perspectiva de 10 bilhões de pessoas no mundo em 2050, intensificar sustentavelmente a produção não é uma opção, é uma necessidade.

No contexto da intensificação sustentável, a agricultura irrigada potencializa a produção na mesma área, chegando a registros de produtividade quatro vezes maior do que áreas de sequeiro. Além disso, é uma das principais tecnologias que promovem uma maior resiliência da agricultura frente às mudanças climáticas.

Cabe enfatizar que o Brasil pode aumentar a área irrigada atual em quase sete vezes, chegando a 55 milhões de hectares, com boa disponibilidade hídrica e condições edafoclimáticas. Essa área potencial do Brasil é maior que a área total da Espanha e mais que duas vezes o tamanho do Reino Unido. É por isso que o Brasil é um Estado nacional chave na garantia da segurança alimentar mundial.

Além do aumento da produção, cabe destacar a importância de a produção ser mais bem distribuída ao longo do ano. Com uma estação seca bem definida, ainda que o Brasil já

tenha registrado um grande avanço no melhoramento genético de plantas adaptadas, sem irrigação não é possível produzir o ano todo.

O crescimento da área irrigada no Brasil, com sustentabilidade e eficiência no uso dos recursos naturais, não é algo trivial. É preciso estratégia. O Brasil precisa melhorar a sua infraestrutura, modernizar a gestão dos recursos hídricos, aperfeiçoar a sua legislação e também investir em instrumentos aceleradores, como o crédito, pesquisa, assistência técnica e gerencial.

Assim, sem dúvida, a agricultura irrigada é uma estratégica chave para o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário e também do País.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas de Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, v.2, 86p., 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 86p., 2017. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 100 p., 2019. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Polos nacionais de agricultura irrigada: mapeamento de áreas irrigadas com imagens de satélite**. Brasília: ANA, 46p., 2020. Disponível em: https://www.ana.gov.br/noticias/levantamento-identifica-principais-polos-nacionais-de-agricultura-irrigada-do-pais/polos_nacionais_agricultura_irrigada.pdf. Acesso em: 5 fev. 2021.

ASSUNÇÃO, A.L.C. **Avaliação da disponibilidade de energia elétrica para expansão da área irrigada no Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. DOI 10.11606/D.11.2018.tde-03052018-103142. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03052018-103142/en.php>. Acesso em: 16 jan. 2021.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. **Manual de Irrigação**. 9 Ed. Editora UFRV. 545p., 2006.

BRAGA, M.B.; CALGARO, M. **Sistema de Produção de Melancia**. Petrolina. Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 6). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/irrigacao.htm>. Acesso em: 4 mai. 2021.

BRASIL. Decreto 6.144 de 3 de julho de 2007. Regulamenta a forma de habilitação e co-habilitação ao Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura - REIDI, instituído pelos Arts. 1 a 5 da Lei 11.488, de 15 de junho de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.16, 4 jul. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/D6144.htm. Acesso em: 4 mai. 2021.

BRASIL. Lei 6.938 de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **DOFC**. p.16509, 2 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em: 22 fev. 2021.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.470, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 16 fev. 2021.

BRASIL. Lei 11.488 de 15 de julho de 2007. Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura - REIDI; reduz para 24 (vinte e quatro) meses o prazo mínimo para utilização dos créditos da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - COFINS decorrentes da aquisição de edificações; amplia o prazo para pagamento de impostos e contribuições e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.2, 15 jun. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação (Mapa). **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030)**: visão estratégica para um novo ciclo. Brasília: Mapa, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/abc-portugues.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2021.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa / Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

COLOMBO, A. Pivô central. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, Cap. 11, v.2, p.209-258, 2003.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Projetos de irrigação da Codevasf em Petrolina alcançam R\$ 1,4 bilhão em valor bruto de produção**. CODEVASF. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2017-1/projetos-de-irrigacao-da-codevasf-em-petrolina-alcancam-r-1-4-bilhao-em-valor-bruto-de-producao>. Acesso em: 5 abr. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Mapeamento do arroz irrigado no Brasil**. CONAB, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Produção de feijão**. CONAB, 2020. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 5 abr. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução 237, de 19 de Dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>. Acesso em: 5 mai. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução 284, de 30 de agosto de 2001. Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=282>. Acesso em: 5 mai. 2021.

DIVISÃO DE ESTATÍSTICA (FAOSTAT). Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Países por commodity**. 2020. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 16 mar. 2021.

DIVISÃO DE ESTATÍSTICA (FAOSTAT). **Novos Balanços alimentares**. 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>. Acesso em: 16 mar. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural**. Campinas, 2020. Disponível em: www.embrapa.br/car. Acesso em: 2 mai. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário Brasileiro de 2017**. IBGE. 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/>. Acesso em: 7 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 6588**: Série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. SIDRA. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>. Acesso em: 5 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 839**: Área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, 1ª e 2ª safras. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/839>. Acesso em: 6 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 1002:** Área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de feijão, 1ª, 2ª e 3ª safras. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1002>. Acesso em: 5 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios.** 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html>. Acesso em: 4 mai. 2021.

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO (Lapig). Universidade Federal de Goiás. **Dinâmica das pastagens Brasileiras:** Ocupação de áreas e indícios de degradação – de 2010 a 2018. Lapig/UFG. Goiânia. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/estudo-mostra-reducao-de-26-8-milhoes-de-hectares-de-pastagens-degradadas-em-areas-que-adoptaram-o-plano-abc/Relatorio_Mapas1.pdf. Acesso em: 3 mai. 2021.

LAGE, F.C. **Custos de produção.** Emater-DF, ano. Disponível em: <http://www.emater.df.gov.br/custos-de-producao/>. Acesso em: 5 mai. 2021.

MALISZEWSKI, E. (Brasília). Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (Abrafrutas). **Alagoas terá Rota da Fruticultura.** 2020. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2020/08/alagoas-tera-rota-da-fruticultura/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MANZATTO, C.V.; ARAUJO, L.S.; ASSAD, E.D.; SAMPAIO, F.G.; SOTTA, E.D.; VICENTE, L.E.; PEREIRA, S.E.M.; LOEBMANN, D.G.S.W.; VICENTE, A.K. **Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais.** 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123612/mitigacao-das-emissoes-de-gases-de-efeitos-estufa-pela-adoacao-das-tecnologias-do-plano-abc-estimativas-parciais>. Acesso em: 4 mai. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030):** visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília: Mapa, 2021.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Brasília. MMA, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/politica-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf. Acesso em: 4 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil: Plano de Ação Imediata da Agricultura Irrigada no Brasil para o período 2020-2023.** Piracicaba: Esalq/USP, MDR, 156 p., 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/estudo-base-plano-de-acao-imediata-para-agricultura-irrigada-no-brasil_mdr_fao_gpp.pdf. Acesso em: 16 mar. 2021.

MARTHA JÚNIOR, G.B. Uma agropecuária forte amortece os impactos da COVID-19. **Revista de Política Agrícola**, v.24, p.140-143, 2020. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1612>. Acesso em: 3 mai. 2021.

NOSSO MUNDO EM DADOS. Parcela de áreas agrícolas irrigadas. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/agricultural-land-irrigation>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **O estado da alimentação e agricultura: superando os desafios da água na agricultura.** FAO. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb1447en/CB1447EN.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **O Estado da Alimentação e Agricultura.** 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb1447en>. Acesso em: 10 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Transformando sistemas alimentares para dietas saudáveis acessíveis.** Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9692en>. Acesso em: 5 abr. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília: FAO, 243 p., 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Água para Alimentos Sustentáveis e Agricultura**. Um relatório produzido para a Presidência do G20 da Alemanha. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Agricultura Mundial Rumo a 2030/2050**: a revisão de 2012. 2012. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/esag/docs/AT2050_revision_summary.pdf. Acesso em: 10 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Sistema de informação sobre água e agricultura**. AQUASTAT. FAO, 2009a. Disponível em: www.fao.org/nr/aquastat/. Acesso em: 18 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Agricultura Mundial: Rumo a 2015/2030**, uma perspectiva da FAO. 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y4252e/y4252e.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **A Previsão da FAO de Área Irrigada para 2030**. 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I9278EN/i9278en.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas da população mundial 2019**. ONU. 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900>. Acesso em: 5 abr. 2021.

POSTEL, S. Estados Unidos da América. Redesenhando agricultura irrigada. In: STARKE, L. (Ed.). **Estado do Mundo 2000**: um Relatório do Instituto Worldwatch sobre o progresso em direção a uma sociedade sustentável. Nova Iorque, NY: W.W. Norton & Company, 2000.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z.P. **Intensificação sustentável em sistemas agrícolas**. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25351192/>. Acesso em: 4 mai. 2020.

RODRIGUES, L.N. **Mitos e Fatos na agricultura irrigada (Parte I)**. Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52800136/artigo---mitos-e-fatos-na-agricultura-irrigada-parte-i>. Acesso em: 5 abr. 2021.

RODRIGUES, L.N. **Mitos e Fatos na agricultura irrigada (Parte II)**. Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54013024/mitos-e-fatos-na-agricultura-irrigada-parte-ii>. Acesso em: 5 abr. 2021.

RODRIGUES, L.N. **Mitos e Fatos na agricultura irrigada (Parte III)**. Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/55110512/mitos-e-fatos-na-agricultura-irrigada-parte-iii>. Acesso em: 5 abr. 2021.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GLOBAL DA SOBRE ÁGUA E AGRICULTURA. AQUASTAT. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Perfil do país – Índia. Relatórios FAO Aquastat. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/IND>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GLOBAL DA SOBRE ÁGUA E AGRICULTURA. AQUASTAT. **Irrigação por país**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/irrigation-by-country>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GLOBAL DA SOBRE ÁGUA E AGRICULTURA. AQUASTAT. **Banco de Dados**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html?lang=en>. Acesso em: 10 mar. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Empregos agricultura de sequeiro**. https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A2CJR3/1/tcc_silvana_vanessa_ramos.pdf. Acesso em: 6 abr. 2021.

VALLEY IRRIGAÇÃO. **Sistema Valley 365**. 2021. Disponível em: <http://www.valleyirrigation.com.br/precision-ag/valley-365>. Acesso em: 5 abr. 2021.

WORLD DATA LAB (Áustria). **Making everyone count**. 2021. Disponível em: <https://worlddata.io/>. Acesso em: 19 mar. 2021.

CAPÍTULO 16

16 CONTRIBUIÇÃO TÉCNICA, SOCIAL E ECONÔMICA DOS PERÍMETROS PÚBLICOS DE IRRIGAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE RECURSO HÍDRICO

Athadeu Ferreira da Silva

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar e apresentar a contribuição técnica, social e econômica dos perímetros públicos de irrigação sob a égide da Codevasf ao manejo otimizado do recurso hídricos. Os projetos públicos de irrigação foram implantados pelo DNOCS e pela Codevasf em áreas do Semiárido da região Nordeste do Brasil, especialmente ao longo do Vale do Rio São Francisco, a partir do início da década de 70. Essas implantações foram decorrentes de planejamentos e estudos realizados nos anos anteriores (principalmente na década de 60), dentro da concepção de polos regionais de desenvolvimento, a partir de núcleos dinâmicos, sendo o projeto de irrigação irradiador de crescimento social e econômico às populações diretamente instaladas naquele complexo e nas áreas adjacentes de influências, através de linhas de negócios variadas derivadas. Os temas versados abaixo, amostral de um período trabalhado, foram e estão replicados pela sociedade, aperfeiçoando práticas e conceitos exigidos pelo tempo, prática saudáveis ações de políticas públicas. Os Perímetros Públicos de Irrigação têm funções multifacetadas em decorrência de adaptarem-se aos cenários demandados pela sociedade contemporânea, sem, no entanto, dissociar de seu núcleo mantenedor - Agronegócio da Irrigação.

16.1 Introdução

Os polos de irrigação públicos estão instalados em regiões de adversidades climáticas, com ocorrência de pluviosidades média anual de 400 a 600mm e em algumas oportunidades, de até 800 mm; as chuvas concentram em períodos curtos, com distribuição espacial irregular e ocorrência de veranicos, comprometendo o planejamento de cultivos agrícolas de modo generalizado.

Os projetos públicos de irrigação sob gestão da Codevasf, na Bacia do Rio São Francisco, estão localizados no estado de Minas Gerais - Polo do Norte de Minas; no Estado da Bahia – Polos Bom Jesus da Lapa, Barreiras, Irecê, Juazeiro e em torno do Lago de Itaparica; Estado de Pernambuco – Polos de Petrolina e entorno do Lago de Itaparica; e Estados Alagoas/Sergipe - Polo do baixo São Francisco.

Os projetos de irrigação sob gestão do DNOCS se concentram nos estados do Ceará (Polos Rio Apodi, Jaguaribe, Acaraú), Rio Grande do Norte (Açu), Paraíba (Bacia do Rio Piancó), Piauí (projeto de irrigação Tabuleiros Litorâneos) e Bahia (Livramento, Itiuba e Canudos).

Diferente de outras regiões do País (como Centro-Oeste, Sudeste e Sul), onde a prática de irrigação na condução de exploração agrícola pode ser de caráter complementar, nos períodos característicos de estiagem (de abril/maio a setembro/outubro), no ambiente da região semiárida, a irrigação é assumida como permanente. Não se considera hiatos de irrigação no plano de um ano fiscal de cultivo. O calendário de irrigação deve ser pleno, desconsiderando a chuva.

Os projetos de irrigação pública, em razão das restrições climáticas da região semiárida, criaram cenários propícios à exploração agrícola, por intermédio de uma rede

hidráulica de captação água em uma fonte com segurança hídrica, condução e distribuição às quadras agrícolas, compostas por lotes familiares de áreas médias de 7 hectares e empresariais de 20 a 200 hectares. Esses lotes, são subdivididos em parcelas agrícolas típicas, modulando o manejo de irrigação aos estágios do ciclo da cultura. Esse aporte viabiliza a produção de alimentos, geração de empregos, dando oportunidade a o homem viver na região, com a melhoria do *status* econômico e social, situação inviável sem a existência desse modelo.

Os valores de custos de investimentos físicos e financeiros demandados, para implantação dos projetos compatíveis próprios à linha de ação dessa política pública de Estado de desenvolvimento regional, são recuperados dentro de um prazo determinado de plena operação, com receitas diretas dos produtores geradas pelo negócio e dividendos sociais, de modo indireto, às populações das áreas de influência do Projeto, provenientes de impostos pagos aos cofres públicos, ao longo do tempo.

16.2 Caracterização e contextualização

Os produtores dos projetos de irrigação, respaldados em lei própria, após a implantação do empreendimento, assumem a gestão do distrito de irrigação, criado para esse fim, com participação plena dos irrigantes.

A vida útil mínima indicada para o empreendimento deve ser assumida de 50 anos.

Estruturas básicas dos núcleos habitacionais foram construídas para alojar irrigantes proprietários de lotes agrícolas e prestadores de serviços nos lotes. Com o passar do tempo, as áreas são transformadas em vilas urbanas, atraindo novos moradores para o local, exigindo elaboração de planos diretores para evitar crescimento desordenado. Essa expansão em alguns casos avançou para dentro dos lotes nas áreas agrícolas.

Os núcleos habitacionais foram construídos para alocação dos proprietários dos lotes agrícolas (instalados em áreas equidistantes dentro dos projetos de irrigação) dotados de moradias básicas (casas) para famílias de cinco pessoas (casal e 3 filhos), centro social para reuniões e cultos, prédio escolar, praça de esportes, postos de saúde e policial, e área para instalação comercial. Com o passar do tempo, esses núcleos foram crescendo com a chegada de prestadores de serviços para agricultura, serviços comerciais diversos e serviços de outra natureza.

As moradias, antes padronizadas, foram recebendo melhorias de seus moradores, onde foram construídos galpões comunitários, salões de festas, prédio para reuniões para alocação dos irrigantes, entre outras benfeitorias.

16.3 Contribuições praticadas: métodos de trabalhos, geração e demonstração de tecnologias, treinamentos e capacitações realizadas

16.3.1 Sistemas de irrigação superficial

Na maioria dos projetos públicos de irrigação implantados nos idos da década de 70 (1970), pelo DNOCS e Codevasf, época referente ao primórdio do segmento, foi adotado o **método de irrigação superficial**, por indisponibilidade de cobertura da malha de eletrificação rural ao longo da área do projeto para pressurização dos sistemas de aspersão convencional, por exemplo.

A eletrificação, quando existia, limitava-se a atender o sistema de captação de água do projeto (Estação de Bombeamento Principal - EBP) da fonte hídrica, com descarga na rede hidráulica de canais de condução de uso comum (principal, secundário e terciário), por gravidade, de seções trapezoidais livres revestidas de alvenaria, até a entrega nas tomadas d'água (TA) dos lotes agrícolas. Daí pra frente, "território" particular do irrigante, a água

segue por regadeiras (pequenos canais sem revestimentos) construídas longitudinalmente no sentido transversal da cabeceira da parcela agrícola do lote (visando ao ganho de carga hidráulica), liberadas para os sulcos de irrigação por sifão manual de pvc (arco convexo da regadeira para o sulco) e/ou por pequenos cortes espaçados nas regadeiras feitos com enxadas para saídas de água; e também por tubos janelados que pode substituir toda ou parte da regadeira. Para o sistema de inundação, a liberação de água é feita por comportas (de madeiras - tábuas) da regadeira, para área de cultivo.

16.3.2 Sistemas de irrigação pressurizados

No decorrer da década de 80, com a implantação de redes de energia elétrica ao longo da área dos projetos de irrigação, o método de irrigação por superfície foi gradativamente substituído por sistemas pressurizados de aspersão convencional, em maior escala; microaspersão e gotejamento (VILELA, 1984; CODEVASF, 1986). Entretanto, sendo a despesa de mudança de sistemas às expensas do proprietário, ainda hoje, perduram em parcelas do lote, ou em lote todo irrigando pelo método de irrigação por superfície.

Os projetos da região do Baixo São Francisco, região de várzeas próximo à foz do Rio São Francisco, com áreas em cotas negativas, protegidas por diques; e/ou lençol freático prevalecem o cultivo de arroz com sistema de inundação, a aptidão própria do tipo de lavoura.

16.3.3 Drenagem

O sistema de drenagem subterrânea está implantado em pelo menos 4.000 hectares, em lotes de projetos de irrigação localizados em Petrolina e Juazeiro, a partir das décadas de 80 e 90 pioneiramente.

A equipe técnica de drenagem da Codevasf (Engenheiros Agrônomos Manoel Batista, Hermínio Hideo Suguino, Walter Caldas e Valdiney Bezerra; e o Engenheiro Civil Dolizor Silva) implantou em, caráter piloto, malha de drenagem parcelar subterrânea em lotes agrícolas da UOD (Unidades de Observação e Demonstração, da Codevasf) no Perímetro irrigado de Maniçoba, Estado da Bahia, nos anos de 1989 e 1990, utilizando tubo PVC de cor branca rígido, serrilhado no local com arco de serra e envelopado com seixo rolado peneirado na malha de até 2,5 cm de diâmetro e lavado, por não existir na época o tubo de Polietileno corrugado flexível e nem manta sintética de poliéster. Os solos desses locais apresentam camadas impermeáveis. A drenagem subterrânea neste tipo de solo visa escoar água.

Solos agrícolas com camadas impermeável rasa, baixa condutividade hidráulica subsuperficial, retendo águas percoladas excedentes da dotação de irrigação e de chuvas, por ascensão capilar ao atingirem a superfície evaporam e precipitam sais (soluto) dessa solução, no perfil do solo, estabelecendo em pouco tempo reboleiras crescentes do fenômeno de desertificação de solo, inviabilizando cultivos de lavoura. A a instalação do sistema de drenagem subterrânea restabelece a capacidade de produção agrícola da gleba.

16.3.4 Sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo

Nos anos de 1997 e 1998 foi realizado teste experimental utilizando inibidor de penetração de raiz no orifício do emissor de descarga do sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo, em lavoura de mamão papaia, no Projeto Público de Irrigação do Jaíba (Região Norte de Minas -MG), pela empresa Israelense de equipamentos de irrigação, Netafim.

O campo de observação foi composto por 03 fileiras de pés de mamão. Cada fileira foi irrigada por uma linha de gotejadores enterrada em profundidades distintas, 3 profundidades distintas/filas de plantas.

As informações coletadas e analisadas do uso de diferentes doses de inibidor à penetração de raiz no orifício do gotejador em condições reais de campo, a eficiência do uso da água no bulbo molhado formado pelo gotejador nas faixas distintas estabelecidas na zona de exploração do sistema radicular da planta à performance sua fitotécnica, compôs o acervo suporte aos desdobramentos que seguiram esses trabalhos.

A Codevasf (1997-2002) levava nas reuniões técnicas periódicas da ABNT, realizadas na Sede da Abimaq (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 2019), na cidade de São Paulo -SP, informações sobre a dinâmica operacional dos equipamentos dos sistemas de irrigação implantados.

Nas inspeções periódicas de campo de técnicos da CODEVASF, eram identificadas junto aos produtores e serviços de assistências técnicas máquinas e equipamentos necessários a adaptação às necessidades operacionais pela indústria, assim como oferecer produtos novos à evolução das demandas sinalizadas pelo mercado da irrigação, já pujante àquela época.

A indústria passou a produzir tubos de drenagem agrícola subterrânea dados levados pela Codevasf às reuniões da ABNT.

Adaptações às semeadoras-adubadoras agrícolas - foram engendrados acoplar equipamentos para abertura de sulcos de irrigação na plataforma convencional disponível no mercado, dinamizando essa operação final sob método de irrigação superficial. Foram efetuados testes e recomendações às fabricações dos referidos equipamentos (Projeto Gorutuba – 1980).

16.3.5 Demanda livre de Irrigação

A Concepção básicas dos Projetos de Irrigação foram para operarem 12h00/dia, período que todos os lotes de irrigação, de acordo com o turno de rega parcelar definido pelo Plano de Operação do Distrito, dá carga hidráulica no Canal Principal para atender as demandas planejadas. Ou seja, todos devem irrigar, sua parcela prevista do lote, nesse período.

Com a extensão da rede de energia elétrica para dentro da áreas dos Projetos de Irrigação, Codevasf 1987/1988 reformulou lotes de irrigantes categoria agricultura familiar substituindo o método de irrigação superficial (sulco) por pressurização (aspersão convencional), construindo reservatórios pulmão (RP), revestido de manta sintética, para receber e armazenar água recebida para o lote na tomada d'água (TA), para irrigar sua parcela dentro de seu cronograma (tarifa livre), com o sistema de irrigação parcelar pressurizado, com água aduzida do RP por sistema de bombeamento movido por ponto de energia instado no lote.

16.3.6 Introdução de cultivares e atividades econômicas

Em 1979/80 foram cultivadas as primeiras lavouras irrigadas de algodão herbáceo na Região do Norte de Minas, vários lotes dos perímetros de irrigação do Gorutuba, em escala comercial, com as variedades tradicionais plantadas em regime de sequeiro (IPECO–SL 6; IAC 21 I; e IAC 13). Com a irrigação, as plantas desenvolveram muito o dossel e produziram poucas maçãs. A equipe técnica da Empresa ARTEX, S/A, fábrica de artefatos, irrigante de um lote no Projeto Gorutuba, ano seguinte plantou e acompanhou todos os parâmetros da variedade MINAS DONA BEJA (Epamig – Capinópolis –MG, obtendo bons resultados, detectando a exigência de submeter a planta ao stress hídrico, naquelas

No período de 1968 a 1975, a Superintendência do Vale do São Francisco (Suvale, hoje Codevasf) introduziu os primeiros cultivares de uvas no Projeto Bebedouro em Petrolina (PE),

uma das bases do pujante polo de Fruticultura Juazeiro/Petrolina (Engenheiro Agrônomo João Nelly de Menezes Regis).

16.3.7 Reúso de água

Como exemplo de reúso, tem-se: (i) criação de peixes em canais de irrigação nos projetos Jaíba e Mirorós; (ii) tanques escavados nos projetos de Irrigação de Propriá, Contiguiba e Pindoba; (iii) consórcio de peixe (carpa cabeça grande e carpa Capim), com marreco de Pequim (parceria entre Brasil e Hungria no período de 1982 a 1988) no projeto Gorutuba (MG); e (iv) reservatórios pulmão dos perímetros de irrigação de Jaíba e Janaúba (MG).

16.3.8 Parcerias com universidades e escolas

Nos perímetros de irrigação, a Codevasf promoveu estágios a diversos alunos de diferentes universidades do Brasil e do exterior, bem como treinamento de irrigantes (plantio de uva, banana, manga, pêssego, maracujá, goiaba, coco anão, e olerícolas).

Muitas dissertações e teses acadêmicas foram realizadas sobre temas específicos referentes aos perímetros de irrigação, versando sobre a irrigação propriamente dita, economia e evolução social, entre outros.

A Codevasf, em 2001, participou da criação do Sisda (Sistema Suporte À Decisão Agrícola) no âmbito da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) do Ministério do Meio Ambiente, sob Coordenação do Prof. Everardo Chartuni Mantovani, fornecendo informações: (i) da dinâmica operacional hidráulica de uso comum do projeto de irrigação de Formoso (Polo de Irrigação em Bom Jesus Lapa, BA), e (ii) do sistema de automação de operação em perímetros de irrigação com de válvulas e hidrômetros implantados pela CODEVASF nos Projetos Riacho Grande e Nupeba, em caráter piloto 2001 e 2002; e participando (iii) da instalação e operação do sistema de coleta e armazenamentos dados de manejo de irrigação parcelar, tendo como base Estação Meteorológica METOS, no Projeto de Irrigação Riacho Grande (polo de Irrigação Oeste da Bahia no município de Barreiras, BA).

Por outro lado, também foram desenvolvidas as seguintes parcerias: otimização de dimensionamentos de comprimento de sulcos em condições de Campo no Projeto de irrigação do Gorutuba, pelo Engenheiro Agrônomo Dirceu Vilela (Codevasf) e Prof. Salassier Bernardo (UFV), 1980/81; e Prof. Everardo Mantovani, em 2008, no Campus de Ciências Agrárias da Univasf junto ao projeto de irrigação Nilo Coelho, em Petrolina (PE) e no Campus de Ciências Agrárias da Unimontes junto ao Projeto Gorutuba, em Janaúba (MG).

A CODEVASF fez doação de áreas e instalações de perímetros irrigação para universidades públicas para implantarem campus de extensão de Ciências Agrárias: i.) Projeto Gorutuba, Escritório Bico da Pedra, Janaúba-MG, para a Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES; e Centro Agropecuário do Projeto Nilo Coelho, Petrolina-PE, para a Universidade do Vale do Rio São Francisco – Projeto Nilo Coelho.

16.3.9 Treinamento de técnicos e agricultores

Cursos teóricos e práticos apresentam as seguintes abordagens: (i) mecanização agrícola, (ii) elaboração e implantação de projetos de irrigação, (iii) manejo da água e do solo, e (iv) operação e manutenção de área agrícola.

O treinamento contribui para a melhor formação teórica dos técnicos, os quais recebem informações dos processos da dinâmica de operação dos projetos de irrigação, como a melhor

definição de parâmetros dos processos de captação, condução e distribuição de água nos lotes agrícolas.

16.3.10 Desenvolvimento econômico e social

O desenvolvimento econômico e social dos perímetros públicos de irrigação provocou oportunidades e negócios, ocasionando a ampliação de agências bancárias e de segmentos comerciais diversos, tais como lojas, supermercados, serviços de saúde, agências de veículos, maquinários automotivos, creches, unidades hospitalares, ocasionando transformação em tempo recorde.

Os perímetros de irrigação fornecem extensão de suas redes hidráulicas para abastecimentos de cidades e vilarejos que surgem e/ou crescem na sua área de influência decorrente da exploração de piscicultura, associação, canais de usos múltiplos e/ou individualmente nos reservatórios pulmões para irrigação dos lotes e tanques escavados, dinamizando o uso da água (reúso).

O aperfeiçoamento de parâmetros de classificação de terras para irrigação, fundamentado nos indicadores físicos e nos comportamentos observados nas áreas irrigadas, com o passar do tempo, otimizam o uso dos recursos naturais propiciando uma agricultura mais sustentável.

16.4 Considerações finais

Os polos de irrigação são mostruários influenciadores na expansão da irrigação pública e privada nas adjacências.

Por outro lado, para constante aprimoramento dos sistemas de produção, torna-se importante o monitoramento de todos os componentes do sistema de produção, desde o perfil do solo aos equipamentos dos sistemas de irrigação.

O mercado industrial e de serviços atende às necessidades do setor agrícola, retroalimentado pela constante necessidade do aperfeiçoamento de tecnologias.

A abordagem técnica visa otimizar os sistemas de irrigação, realizando inspeções e coletando e registrando informações de campo, desde classes de solo ao manejo otimizado do recurso hídrico, observando as escalas espaciais e temporais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Câmara Setorial de Irrigação. Atualização de área irrigada no Brasil, Abimaq, 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8 Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008. 625p.

CODEVASF. Transformação parcial do sistema de irrigação. Perímetro de irrigação da margem direita. Projeto Executivo. Brasília, 1982. **Plantas** – CODEVASF-MINTER, v.3, 14p., 1984.

VILELA, D. Consumo de água na irrigação por sulcos em terrenos de latossolo. Montes Claros, CODEVASF-MINTER, 44p., 1984.

Parte III

ECONOMIA

Parte III - ECONOMIA

CAPÍTULO 17**17 SITUAÇÃO E POTENCIAL DA IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL NA AGRICULTURA FAMILIAR**

Aziz Galvão da Silva Júnior e Everardo Chartuni Mantovani

Resumo

A expansão da agricultura irrigada é uma estratégia prioritária para atender a demanda crescente por alimentos sem aumentar a pressão por novas áreas. Para a agricultura familiar, ou cerca de 500 milhões dos 570 milhões de estabelecimentos rurais no mundo, a irrigação é a tecnologia chave para aumentar a produção, gerar renda e contribuir para a redução da pobreza rural. Em países como a China e Índia, as áreas irrigadas, ou cerca de 70 milhões de ha, são cultivados majoritariamente por agricultores familiares. No Brasil, 466 mil propriedades com área menor que 100ha adotam a irrigação, o que equivale a cerca de 90% do total de irrigantes e somente 30% da área total. Por outro lado, estes agricultores são responsáveis pela maior área com métodos pouco eficientes e com grande potencial de melhoria. Aproveitar o potencial de expansão da irrigação de qualidade na agricultura brasileira em geral e na agricultura familiar em particular é um desafio complexo que depende da difusão de tecnologia, além de políticas públicas, melhoria da infraestrutura e crédito. Para que esta expansão seja sustentável e viável, a gestão eficiente dos recursos hídricos é imprescindível, pois a água é, na prática, um recurso geograficamente e temporalmente limitado.

17.1 Introdução

O aumento da produção de alimentos, a preservação dos recursos naturais e a diminuição da pobreza são desafios globais relacionados diretamente à agricultura. Para aumentar a produtividade, otimizar o uso dos recursos produtivos e, em especial, gerar receitas suficientes para que as famílias no meio rural tenham condições de vida digna, a adoção de tecnologia é imprescindível. A irrigação é a tecnologia que permite, ao mesmo tempo, atender a demanda crescente por alimentos sem aumentar a pressão por novas áreas agrícolas. A expansão da agricultura irrigada é uma prioridade e, para a agricultura familiar, uma oportunidade.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), há aproximadamente 570 milhões de propriedades rurais no mundo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2014). Estima-se que mais de 500 milhões de estabelecimentos podem ser considerados como familiares, nos quais o gerenciamento e o trabalho são realizados predominantemente pela própria família. Cerca de 470 milhões das propriedades familiares ocupam área menor que 2 ha e metade delas localizam-se em países de baixa ou média baixa renda conforme critérios do Banco Mundial, ou seja, países com renda per capita menor que 1.000 e entre 1.000 e 4.000 dólares por ano respectivamente (LOWDER, 2014). Em termos mundiais, as propriedades rurais familiares geram 80% do valor da produção agrícola e têm papel central na segurança alimentar da geração atual e das gerações futuras (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2014). Entretanto, em algumas regiões, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, muitos agricultores familiares não são capazes de gerar renda e

produzir alimentos para garantir o consumo mínimo da própria família. Apesar da produção mundial de alimentos ser suficiente para alimentar a população atual, há ainda 842 milhões de pessoas que passam fome cronicamente. Paradoxalmente, cerca de 70% destas pessoas vivem no meio rural. Nestas regiões, a pobreza rural é resultado de um conjunto de fatores históricos, socioculturais, geográficos, econômicos e climáticos específicos. Além de inaceitável moralmente, a pobreza rural é a principal causa da migração para centros urbanos, provocando novos problemas. Portanto, ações efetivas são prioritárias e urgentes para que a agricultura familiar deixe de ser parte do problema para contribuir efetivamente para a produção de alimentos e diminuição da pobreza. O estímulo à agricultura irrigada sustentável é uma destas ações.

Apesar de ocupar somente 20% da área agrícola mundial, as áreas irrigadas são responsáveis por cerca de 40% do volume e 50% do valor econômico da produção.



Figura 1. Comparação da agricultura irrigada com a de sequeiro: participação da irrigação na área cultivada, produção e valor da produção mundiais (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2017).

De acordo com a FAO, 308 milhões de hectares estão equipados para irrigação, sendo que 255 milhões são efetivamente irrigados (SIEBERT, 2013). Entretanto, a área colhida anualmente equivale a 360 milhões de ha, ou seja, como a irrigação permite mais de uma safra por ano, a intensidade média de cultivo é de 130%. Em regiões com alta tecnologia, a intensidade de cultivo pode atingir 300% e na Ásia, que representa 80% da área mundial irrigada, este índice ultrapassa 170%. Neste continente, a irrigação é realizada basicamente por agricultores familiares. Sem a irrigação, países como a China e a Índia não seriam capazes de alimentar mais de 1/3 da população mundial e nem gerar renda para milhões de famílias que vivem no meio rural. Em relação à demanda global nos próximos 25 anos, a FAO estima que 80% dos alimentos deverão ter origem em áreas irrigadas, pois esta tecnologia é a mais adequada para aumentar a produção sem aumentar a pressão por novas áreas para a agricultura. Em regiões como a África, a irrigação, mesmo utilizando métodos simples, tem impacto socioeconômico significativo, como indicam projetos implementados por organizações mundiais (SMITH, 2014). Entretanto, a irrigação deve ser analisada no contexto amplo de desenvolvimento sustentável, levando em consideração a gestão dos recursos hídricos, a utilização de tecnologias adequadas, o ambiente institucional, além do mercado de insumos e produtos. Todos estes fatores são transformados em ações concretas pelas decisões dos agricultores através do manejo da irrigação e da gestão da empresa rural.

17.2 Agricultura familiar, sustentabilidade e irrigação

Não há consenso em relação a definição de agricultura familiar. Entretanto, as diversas definições usam normalmente como critérios básicos a posse da terra, o gerenciamento do empreendimento e a origem da mão-de-obra. Outras definições enfocam critérios como o tamanho da propriedade, a escala de produção e a renda. Um comitê internacional definiu agricultura familiar como:

Uma forma de organização de base agrícola, florestal, pesqueira, pecuária e aquicultura gerenciada e operada pela família, empregando mão-de-obra predominantemente familiar. A família e a propriedade rural estão relacionadas, se desenvolvem conjuntamente e combinam funções econômicas, ambientais, sociais e culturais (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2013, p.2).

Apesar desta definição não incluir explicitamente a questão da área, estima-se que 72% das propriedades familiares têm menos de 1 ha e 84% menos que 2 ha. Por este motivo, muitos autores utilizam o termo *smallholders* para designar a produção agrícola em pequena escala, normalmente considerando também características como baixa produção, dificuldade de acesso a recursos produtivos, atuação significativa na economia informal e a vulnerabilidade socioeconômica (ETHICAL TRADING INITIATIVE, 2005). Em termos de distribuição mundial, 59% das propriedades familiares encontram-se na China e Índia. Mesmo em países de alta renda, a agricultura familiar é representativa. O termo agricultura familiar é utilizado nos Estados Unidos (EUA) utilizando-se critérios de tamanho e renda. Na Europa, além dos critérios de escala, forma de gerenciamento e origem do trabalho, é dada especial importância para aspectos culturais e para as tradições locais.

No Brasil, a Lei 11.326 de 2006 define como agricultura familiar as propriedades com menos de quatro módulos fiscais, nas quais o gerenciamento e a mão-de-obra são predominantemente familiares e somente um percentual mínimo da renda é obtido fora da propriedade. Com a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) em 1996, o documento DAF (Declaração de Enquadramento no PRONAF) verifica os critérios descritos na lei e é critério essencial para a concessão de diversas linhas de crédito. Do ponto de vista sociológico e político, os termos agricultura familiar, campesinato, latifúndio e agronegócio estão inseridos na chamada questão agrária (HELFAND, 2014). A discussão acadêmica resultou em ações de política públicas com a criação, em 1999, do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Em 2018, a existência de dois ministérios para a Agricultura deixou de existir. Com a extinção do MDA, funções e secretarias deste ministério foram incorporadas a Autarquias e Secretarias vinculadas ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Mudanças nesta gestão em um sentido ou outro estão associadas a visão política da questão e na verdade devem ser avaliadas em função dos reais resultados alcançados e não do modelo adotado.

A despeito da discussão ideológica e política, a agricultura, independentemente da área, escala e forma de gerenciamento e operação, está inserida em uma cadeia de produção. Em 1957, os pesquisadores de Harvard, John Davis e Ray Goldberg, definiram o termo *agribusiness*. Esta abordagem surgiu do fato da divisão tradicional da economia entre setores primário, secundário e de serviços não ser suficiente para explicar as relações e o funcionamento das cadeias de produção de alimentos. Neste sentido, qualquer unidade econômica envolvida na produção de insumos, passando pela produção agrícola propriamente dita, indústrias de processamento e empresas de distribuição, faz parte do *agribusiness* ou agronegócio, como o termo foi traduzido para o Português. Agricultura familiar não é, portanto, um contraponto ao agronegócio e qualquer agricultor que compre um insumo e venda seu produto está inserido em uma rede de organizações e de relações econômicas. Esta rede é cada vez mais complexa e deve considerar não só o fluxo de produtos, mas também os impactos da produção na sociedade e, especialmente no meio ambiente.

A discussão sobre desenvolvimento econômico e preservação ambiental passou a ser um tema chave nas discussões econômicas a partir de 1972 com a publicação do livro *Limits do Growth*. Este livro foi resultado da iniciativa de um grupo de cientistas reunidos no chamado "Clube de Roma". Entretanto, os impactos ambientais da agricultura, em especial o uso de

produtos químicos, já tinham sido apontados e ganhado visibilidade na sociedade uma década anterior com a publicação em 1962 do livro *Silent Spring* da bióloga Rachel Carson. Nos anos 80, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, indicando como presidente a Ex-Primeira Ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland. *Obs: depois de presidir a comissão ela voltou a ser Primeira Ministra, mas em 1983 ela era Ex-Primeira Ministra.* O documento, com o título "*Our Common Future*" passou a ser conhecido também como Relatório Brundtland e incorporou as visões críticas sobre o modelo de desenvolvimento e seus impactos ambientais, além de definir desenvolvimento sustentável como "o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades".

O problema econômico da distribuição equânime da riqueza, não solucionado nos séculos e nas décadas passadas e ainda muito longe de ser solucionado no presente, foi ampliado para a discussão do uso e preservação equânime de recursos entre gerações. Reduzir com urgência a pobreza e preservar o meio ambiente para as gerações futuras são os maiores desafios da geração atual. Em 2015, todos os membros das Nações Unidas se comprometeram com 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) descritos no documento "Agenda para o Desenvolvimento Sustentável" (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020). Estes objetivos abordam desde a erradicação da pobreza (ODS 1) até parcerias e meios de implementação do desenvolvimento sustentável (ODS 17).

As mudanças climáticas, a preservação da biodiversidade e a questão hídrica são os temas chave da agenda ambiental e consequentemente do desenvolvimento sustentável. Todos eles estão diretamente relacionados com a produção agrícola e de uma maneira direta ou indireta afetam a disponibilidade do seu recurso fundamental que é a água. Este recurso é básico para a própria existência humana e essencial para as atividades econômicas. O ODS 6 aborda especificamente a água e "busca assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos" (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020). Além deste ODS, o uso da água e, por extensão da irrigação, estão relacionados com metas de outros objetivos como: ODS 1: 1.1 Erradicar a pobreza extrema, 1.2 Reduzir à metade o número de pessoas que vivem na pobreza, ODS 2: 2.1 Garantir o acesso a alimentos, ODS 8: 8.1 Promover o crescimento econômico sustentável e ODS 15: 15.3 Combater a desertificação e restaurar solos degradados (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2020).

A disputa, ou rivalidade, pelo uso da água é a causa de inúmeros conflitos ao longo da história humana. A própria origem da palavra "rivalidade" está relacionada a uma questão hídrica. Em latim "*rivus*" significa ribeiro, arroio e regato, e é a raiz da palavra rio em português. Com o acréscimo do sufixo "*alis*" surgiu a palavra "*rivalis*", que significava originalmente "aqueles que compartilham o uso de um rio" (WALLACK, 2007; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2018). Se o uso da água pode ser o motivo de disputas e, algumas vezes, a causa de conflitos graves, por outro lado, as regiões mais eficientes na produção de alimentos no mundo são exatamente aquelas que, além de outros fatores favoráveis, gerenciam eficientemente os diferentes interesses relacionados ao uso da água.

As características inerentes da água tornam o gerenciamento dos recursos hídricos especialmente complexo. Apesar de ser um dos recursos mais abundantes da terra e do ponto de vista global fazer parte de um sistema fechado, na prática, menos de 1% da água do planeta está disponível para o consumo. Na maioria das regiões, a disponibilidade hídrica é restrita em algum período do ano. Portanto, a água pode ser considerada um recurso limitado. Do ponto de vista econômico, a água superficial ou subterrânea disponível é um bem classificado como "bem comum", com as características de consumo rival e não excludente. Para bens comuns, o uso do recurso por uma pessoa impede ou reduz o consumo de outra, ou seja, o consumo é rival. Ao mesmo tempo, a exclusão de usuários "não autorizados" se não é impossível no caso da água, é complexa e de custo elevado pois exige um sistema

eficiente de monitoramento. Portanto, na prática, a água pode ser considerada um recurso natural de consumo não excludente.

A exaustão dos recursos naturais, em especial aqueles considerados como bens comuns ou em inglês *common pool resources* é uma preocupação chave na questão ambiental. O ecologista Garrett Hardin, em um artigo publicado na revista Science em 1968, chamou a atenção para situação na qual os usuários, agindo de forma racional e de acordo com seus próprios interesses, levam ao esgotamento dos recursos comuns (HARDIN, 1968). Esta situação passou a ser conhecida como a "Tragédia dos Bens Comuns", ou como é conhecido na literatura internacional, *The tragedy of the commons*. Esta visão pessimista baseia-se no pressuposto de que o comportamento dos indivíduos é egoísta, focado em ganhos de curto prazo e não influenciado por possíveis sanções sociais (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2018). Outros pesquisadores, em especial a ganhadora do prêmio Nobel de economia em 2009 Elinor Ostrom, mostraram que a tragédia dos bens comuns é real, mas não necessariamente inevitável. As relações sociais, através de mecanismos como a reputação, as políticas públicas e a atuação dos governos federais e regionais em conjunto com grupos locais desempenham papel chave nos sistemas eficazes de governança de bens comuns, como a água (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2018; HOFFMAN *et al.*, 2015; OSTROM, 2009; OSTROM *et al.*, 1999; OSTROM, 1990). Entre as características de sistemas de sucesso de gestão de recursos comuns como aquíferos e sistemas de irrigação, podem ser citados o funcionamento de um sistema de monitoramento eficiente, a aplicação de leis com sanções graduais e a existência de laços de confiança entre os agentes.

Considerando a gestão e disponibilização de água para a planta, divide-se a agricultura em agricultura de sequeiro e agricultura irrigada. Entretanto, existem alternativas e técnicas híbridas entre sistemas totalmente dependente de água da chuva e de sistemas nos quais a única fonte de fornecimento de água é a irrigação. A irrigação suplementar é um exemplo. Na agricultura irrigada, as principais fontes de captação de água são as águas superficiais e as águas subterrâneas. Fontes alternativas como o reúso de água também são utilizadas. A chamada "colheita de água" ou *water harvesting* na literatura em inglês e técnicas de conservação de água são utilizados para aumentar a disponibilidade hídrica. Estimativas indicam que estas práticas podem aumentar a produção na agricultura de sequeiro em 24% e, combinada com a expansão da irrigação, em 40% (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2020).



Figura 2. Gestão de recursos hídricos na agricultura de sequeiro e irrigada (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2020). (A) Agricultura de sequeiro. (B) Agricultura irrigada (sem chuva). (C) Conservação da água. (D) Irrigação suplementar. (E) Captação de água. (F) Água subterrânea para irrigação. (G) Água superficial para irrigação. (H) Drenagem.

Como destacado anteriormente, apesar de globalmente a água fazer parte de um sistema fechado e, portanto, a quantidade total de água não sofrer alteração, a disponibilidade hídrica é definida geográfica e temporalmente. A água utilizada pela agricultura irrigada é

considerada como um uso consuntivo, pois a maior parte que é evapotranspirada e não retorna diretamente para os cursos hídricos. Globalmente estima-se que a agricultura seja responsável por 70% do uso consuntivo da água. No Brasil dados da ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2018) indicam que agricultura irrigada é responsável por 52% do total de água retirada dos corpos hídricos. Para a agricultura, não só a falta de água é um desafio. O excesso de água em algumas situações é um problema grave que pode afetar tanto a agricultura de sequeiro quando a agricultura irrigada, o qual exige a implementação de tecnologias de drenagem e contenção (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2020). De acordo com Mantovani *et al.* (2009), a drenagem na agricultura pode utilizar métodos superficiais e subterrâneos e “tem como principal objetivo criar ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas, preservando as propriedades físicas e químicas do solo”.

A gestão dos recursos hídricos nas propriedades rurais, tanto no cultivo de sequeiro quando na agricultura irrigada, utiliza um conjunto de técnicas para garantir e otimizar a produção agrícola, considerando não só a disponibilidade de água, mas também sistemas de plantio, condições climáticas e do solo (MANTOVANI *et al.*, 2009). Nas empresas rurais, a maximização dos resultados econômicos consiste na alocação ótima dos recursos naturais, insumos industriais, trabalho e capital, levando-se em consideração os preços de compra dos insumos e venda de produtos.

Do ponto de vista econômico e ambiental, o uso eficiente dos recursos é imprescindível para a obtenção de resultados econômicos satisfatórios e a preservação ambiental. Entretanto, no caso da irrigação, alguns autores têm chamado a atenção para o paradoxo do aumento da eficiência ou efeito rebote na irrigação (BERBEL *et al.*, 2015; BERBEL *et al.*, 2018; GRAFFTON *et al.*, 2020). Espera-se que o aumento da eficiência de um processo, ou seja, a diminuição do uso de um recurso por cada unidade de produto, aumente a disponibilidade total dos recursos. No caso do aumento da eficiência da irrigação, o menor uso de água por unidade de área ou produção aumentaria a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica. Entretanto, em situações reais, observou-se o efeito contrário, ou seja, o aumento da eficiência da irrigação diminuiu a disponibilidade para outros usos, gerando escassez hídrica e conseqüentemente afetando a sustentabilidade da agricultura irrigada. Em economia, este efeito é conhecido como Paradoxo de Jevons, em homenagem ao economista britânico que descreveu este fenômeno. Esta situação reforça a importância de considerar os impactos da tecnologia no contexto econômico, social e ambiental. Os agentes econômicos ao reduzirem o uso de recursos e conseqüentemente os custos, passam a obter maior rentabilidade e acumular capital, viabilizando novos investimentos. Nesta situação, os resultados favoráveis da irrigação estimulam o aumento da área e a implantação de cultivos mais exigentes em água, aumentando o consumo na bacia hidrográfica. Obviamente, a solução não é manter a ineficiência de sistemas de irrigação ou impedir o desenvolvimento econômico. No caso da irrigação é imprescindível discutir e implementar sistemas de gestão eficientes a nível de bacia hidrográfica, os quais garantam o uso múltiplo da água e a geração de alimentos e renda. A questão do desenvolvimento econômico, redução da pobreza e preservação ambiental é atual e altamente relevante na prática.

17.3 Agricultura familiar no Brasil

O agronegócio, ou seja, o conjunto das unidades de produção agrícola e os segmentos antes e depois da porteira, é responsável por 21,4% do PIB brasileiro (ABAG, 2020). Segundo projeções da Confederação Nacional da Agricultura (CNA, 2020) o valor bruto da produção agropecuária na safra 2019/2020 aumentará 17,5% em relação à safra anterior, atingindo R\$ 903 bilhões. A agricultura crescerá 22,3% e a pecuária 9,8%, atingindo R\$ 582 bilhões e R\$ 321 bilhões, respectivamente.

Segundo o Censo Agropecuário de 2017, há 5.073.324 estabelecimentos agropecuários no país, os quais ocupam 351 dos 852 milhões de ha do território brasileiro (41%) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017), Cerca de 77% do total, ou 3.897.408 estabelecimentos, são classificados como agricultura familiar e ocupam uma área de 80,9 milhões de hectares, equivalente a 23% da área total ocupada pela agropecuária. Estes estabelecimentos empregam 10,1 milhões de pessoas; ou 67% do total de pessoas ocupadas na agropecuária, com média de 2,6 pessoas por propriedade. A agricultura familiar é também responsável por 23% do valor total da produção agropecuária no Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). O número de propriedades e pessoas ocupadas demonstram claramente a relevância da agricultura familiar, que têm também participação significativa na produção dos alimentos. Nas culturas permanentes, o segmento responde por 48% do valor da produção de café e banana; nas culturas temporárias, são responsáveis por 80% do valor de produção da mandioca, 69% do abacaxi e 42% da produção do feijão. O valor bruto da produção também é significativo.

Entretanto, uma análise mais detalhada da participação relativa da agricultura familiar evidencia um desafio e, ao mesmo tempo, uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. Alves (2015), analisou as desigualdades na agricultura brasileira com dados do Censo de 2006. Quando se considera a renda e a participação relativa no valor da produção, cerca de 500 mil propriedades rurais com renda na faixa de 10 e 200 salários mínimos são responsáveis por 87% do valor bruto da produção no Brasil. Considerando o grupo das propriedades mais ricas, ou seja, aquelas que geraram renda acima de 200 salários mínimos, a concentração fica ainda mais evidente. Somente 27.306 propriedades rurais ou menos de 1% do total, contribuíram com 51% do valor total da produção. Por outro lado cerca de 1,9 milhões de estabelecimento produzem menos de meio salário mínimo por mês, ou seja, estes agricultores produzem pouco e são pobres.

Tabela 1. Participação dos estabelecimentos rurais por classe de renda no número total e renda bruta da produção (ALVES; SOUZA; ROCHA, 2013).

Classe de renda (slmm)	Número de estabelecimentos	%	Participação na renda bruta (%)	Renda bruta por estabelecimento (slmm)
(0, 2]	2.904.769	66,01	3,27	0,52
(2, 10]	995.750	22,63	10,08	4,66
(10, 200]	472.702	10,74	35,46	34,49
>200	27.306	0,62	51,19	861, 91
Total	4.400.527	100	100	10,45

Estudos mostram que o crescimento da renda bruta das propriedades rurais é explicado em 9,6% pela terra, 22,3% pelo trabalho e 68,1% pela tecnologia (ALVES; SOUZA; ROCHA, 2013). Considerando somente o crescimento da área e da produtividade, o aumento do rendimento das explorações agropecuárias explicou praticamente 100% do aumento da renda (GASQUES *et al.*, 2012). Dados apresentados na Tabela anterior evidenciam que uma parcela altamente significativa dos produtores rurais brasileiros ficou à margem da modernização da agricultura, ou seja, estes agricultores não foram capazes de adotar tecnologias que permitem aumentar a produtividade e a renda das propriedades. A situação média dos agricultores é, entretanto, bastante desigual quando se compara as regiões brasileiras. O sul do país e a região do semiárido são dois casos extremos. No sul do país, de modo geral, os agricultores

familiares foram capazes de se inserir no mercado e conseguem gerar renda adequada. Nestas regiões, políticas públicas foram eficientes para viabilizar o acesso a crédito e assistência técnica, além de condições favoráveis de infraestrutura e questões culturais, como visão positiva em relação ao associativismo. Por outro lado, o semiárido concentra os maiores bolsões de pobreza do país. Ao lado de limitações climáticas que em determinadas regiões e períodos são bastante severas, as políticas públicas têm tido efeito limitado. Áreas irrigadas no semiárido são as exceções na situação generalizada de pobreza nesta região do país.

17.4 Situação atual da irrigação na agricultura familiar

O Brasil, com área equipada para a irrigação de cerca de 7 milhões de ha, ocupa a sétima posição mundial. O Brasil faz parte do grupo de países com área entre 4 e 9 milhões de hectares, bem distante do grupo de países líderes, composto pela China e Índia com cerca de 70 milhões de ha equipados para irrigação. O Brasil também está atrás dos USA e Paquistão, que têm, respectivamente, 26 e 20 milhões de hectares irrigados (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2017).

No Brasil, as culturas do arroz e cana-de-açúcar destacam-se com, respectivamente, 25% e 20% da área total irrigada. Outros cultivos, como soja, milho, feijão e fruteiras representam o restante da área. Em 25% da área utiliza-se o sistema de inundação, 22% pivô central e 37% outros sistemas como gotejamento, microaspersão, sulcos e superfície. Há diversos polos de concentração de irrigação no Brasil, como por exemplo, o polo de arroz inundado no Rio Grande do Sul, áreas de pivô central em São Paulo com cana-de-açúcar, áreas também sob pivô central no Cerrado com grãos, algodão e café, e fruticultura no vale do Rio São Francisco.

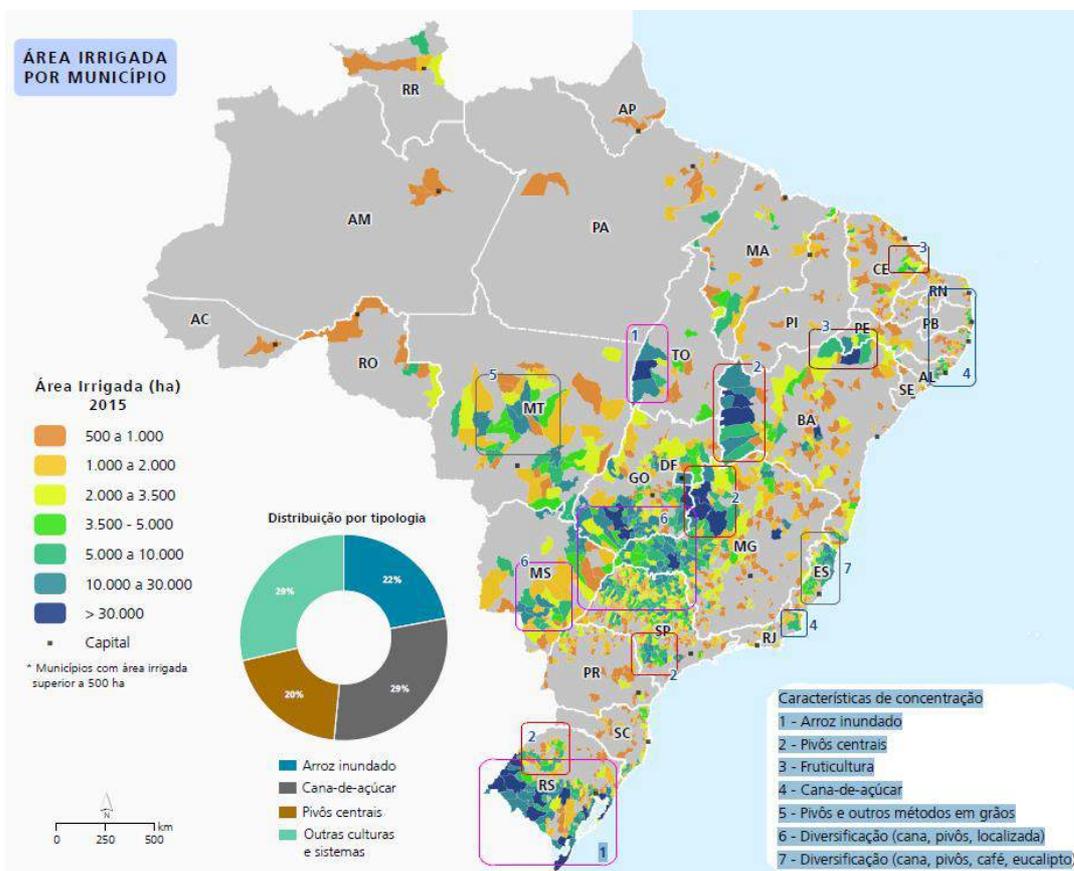


Figura 3. Área irrigada por município e características de concentração (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

O aumento da produtividade agrícola pela irrigação é discutido por diversos autores nacionais (RODRIGUES, 2017) e internacionais (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2020). No Atlas da Irrigação no Brasil, publicado pela ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017) é destacado a diferença de produtividade nas culturas do arroz, feijão e trigo, como mostrado na Figura 4.

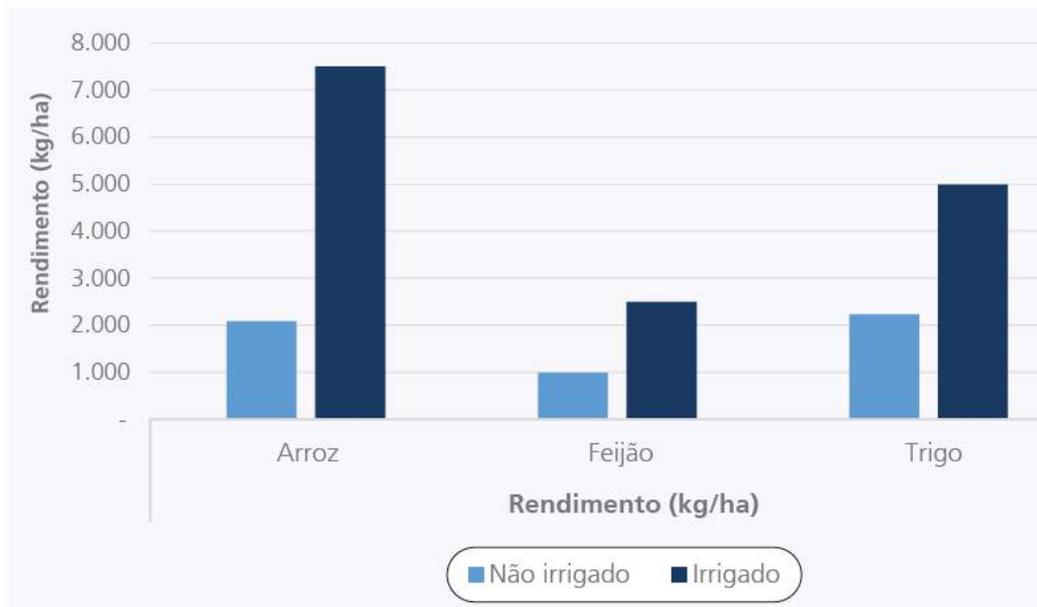


Figura 4. Comparação entre rendimentos das culturas do arroz, feijão e trigo irrigado e não irrigado (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

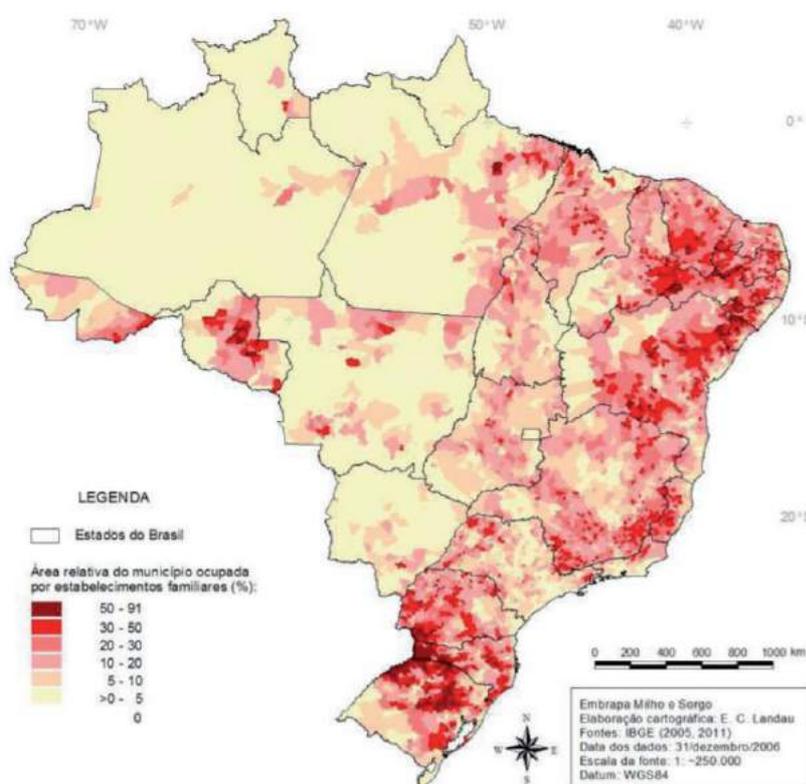
O feijão da 3ª safra em 2013 representou 7,3% da área colhida com feijão e 17,6% da produção. Em média, o rendimento do feijão irrigado em relação ao feijão de sequeiro é de 2,5 a 3,4 vezes maior. O mesmo se observa no caso do milho e principalmente quando se compara as produtividades do arroz de sequeiro e arroz irrigado, com médias de cerca de 2.000 e 7.500 kg ha⁻¹ respectivamente. Além do aumento da produtividade, estas atividades aproveitam as vantagens da irrigação quanto a diminuição de risco e aumento da qualidade da produção.

Em relação à agricultura familiar, no censo de 2006 o número de propriedades e a área irrigada foram divididas entre agricultura patronal e os diversos grupos de agricultores familiares classificados de acordo com um índice que compara a renda da propriedade (a classificação dos agricultores leva em consideração a renda total em relação ao custo de oportunidade anual do trabalho na agricultura familiar -COV-, calculado pela fórmula $DIAREG \times 260 \times 1,2$, aonde DIAREG é a média regional do valor do dia de trabalho, acrescida de 20% e considerando 260 dias de trabalho por ano. Agricultores familiares do tipo A tem renda total -RT- maior que 3 vezes o COV, do tipo B, RT maior que 1 COV e menor que 3 COV, tipo C, RT maior que 0,5 COV e menor que 1 COV e tipo D, RT menor que 0,5 COV.) ao valor do trabalho diário regional. Os agricultores familiares são classificados em uma escala de renda crescente de D a A. Considerando todos os agricultores familiares, este segmento, em 2006, era responsável por 79% do número de estabelecimentos com irrigação e 20% da área total irrigada do país, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Número de estabelecimentos (Ne) e área irrigada (Ai) por tipo de agricultor (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006).

	Ne	%	Ai	%Total
Total	331.990	100%	4.545.534	100%
Familiar - tipo D	110.120	33%	297.532	7%
Familiar - tipo C	32.014	10%	69.421	2%
Familiar - tipo B	64.828	20%	187.011	4%
Familiar - tipo A	54.139	16%	364.463	8%
Familiar (total)	261.101	79%	918.427	20%
Agricultor não familiar	70.889	21%	3.627.107	80%

A área relativa dos municípios brasileiros ocupadas pela agricultura familiar, com dados do censo de 2006 é mostrada a seguir.

**Figura 5. Área ocupada por estabelecimentos familiares (LANDAU, 2013).**

O censo de 2017 não manteve a classificação anterior, o que impede uma análise da evolução dos dados apresentados. Entretanto, os dados podem ser desagregados considerando a área da propriedade rural, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Número de estabelecimentos (Ne) e área irrigada (Ai) por grupo classificados pela área total. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017).

Grupo (área total)	Ne	%	Ai	%
menor que 1 ha	60.067	12%	35.511	1%
entre 1 e 10 ha	222.172	44%	695.878	10%
entre 10 e 100 ha	183.840	36%	1.304.153	19%
entre 100 e 1.000 ha	33.446	7%	1.710.593	25%
maior que 1.000 ha	4.926	1%	3.156.824	46%
TOTAL	504.451	100%	6.902.959	100%

Apesar de representar somente 1% do total de estabelecimentos com irrigação, os

4.926 estabelecimentos com áreas maiores que 1.000 ha são responsáveis por 46% da área total irrigada do país, ou 3,2 milhões de ha. Nos critérios do PRONAF, a área do estabelecimento na agricultura familiar deve ser menor que 4 módulos fiscais, os quais variam de 5 a 110 ha, conforme a região. A maioria dos agricultores familiares estão localizados em regiões com módulos fiscais próximos a 25 hectares, portanto, grande parte das propriedades com áreas menores que 100 ha são classificados como agricultura familiar.

Em relação aos métodos de irrigação, a irrigação localizada por gotejamento é o sistema presente no maior número de propriedades familiares, ou de escala menor que 100 ha. O segundo método com maior número de estabelecimentos é a irrigação não tecnificada, classificada como outros métodos por molhação. A agricultura de pequena escala concentra grande parte da irrigação não tecnificada do país. Por outro lado, estabelecimentos menores representam 49% das propriedades com sistemas de pivô central. Esta porcentagem, considerando o custo de investimento e o fato desta tecnologia ter custos por área decrescente em sistema maiores, pode ser considerada significativa.

Tabela 4. Número de propriedades por método de irrigação nos grupos de propriedades com área total menor e maior que 100 ha. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017).

Número de estabelecimentos	Área da propriedade			Total
	<100 ha	>100 ha	%(<100 ha)	
Total	466.079	39.424	92%	505.503
Método de irrigação				
localizada - gotejamento	129.375	10.128	93%	139.503
localizada - microaspersão	98.691	5.603	95%	104.294
localizada - outros métodos	5.638	337	94%	5.975
por superfície - inundação	17.308	4.974	78%	22.282
por superfície - sulcos	10.511	595	95%	11.106
por superfície - outros métodos	2.409	283	89%	2.692
por aspersão - autopropelido/carretel enrolador	4.220	1.389	75%	5.609
por aspersão - pivô central	5.368	5.682	49%	11.050
por aspersão - aspersão convencional	104.734	9.752	91%	114.486
outros métodos - subsuperficial	8.312	499	94%	8.811
outros métodos - molhação	121.028	3.588	97%	124.616

O método com maior participação na agricultura de pequena escala é a irrigação localizada por gotejamento que ocupa 621.496 ha. Este valor representa 60% da área total deste método na agricultura irrigada do país. Os métodos aspersão por autopropelido / carretel enrolador e pivô central na agricultura familiar ocupam somente 3% da área total irrigada no país.

Tabela 5. A área irrigada por método de irrigação nos grupos de propriedades com área total menor e maior que 100 ha. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017).

Número de estabelecimentos	Área propriedade			Total
	<100 ha	>100 ha	%(<100 ha)	
Total	2.035.542	4.867.418	29%	6.902.960
Método de irrigação				
localizada - gotejamento	621.496	417.224	60%	1.038.720
localizada - microaspersão	395.411	222.634	64%	618.045
localizada - outros métodos	14.918	12.400	55%	27.318
por superfície - inundação	192.419	1.259.147	13%	1.451.566
por superfície - sulcos	27.571	62.169	31%	89.740
por superfície - outros métodos	5.985	74.418	7%	80.403
por aspersão - autopropelido/carretel enrolador	23.114	757.254	3%	780.368
por aspersão - pivô central	40.709	1.394.328	3%	1.435.037
por aspersão - aspersão convencional	523.980	574.403	48%	1.098.383
outros métodos - subsuperficial	16.525	30.352	35%	46.877
outros métodos - molhação	173.411	63.093	73%	236.504

A agricultura familiar tem participação significativa nos perímetros de irrigação. Estas iniciativas surgiram no âmbito de programas de desenvolvimento regional e, apesar de ocuparam somente 219 mil ha dos 7 milhões de hectares irrigados, têm um impacto significativo em termos de geração de renda, produção de alimentos e contribuição no desenvolvimento regional. De acordo com Rodriguez (2017), em 2015, estavam em funcionamento 79 projetos de perímetros irrigados em 88 municípios. Dez outros projetos não haviam iniciado a produção. A bacia do Rio São Francisco e a região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental são as regiões com maior número de projetos, a maioria deles localizados na região semiárida. Em termos de geração de renda, estima-se que estes perímetros gerem cerca de 630 mil empregos diretos e indiretos, o que aumenta o impacto socioeconômico. Grande parte destas iniciativas surgiram ainda nos anos 60 e tinham um enfoque social. Entretanto, muitos produtores rurais assentados nestes projetos não tinham conhecimentos técnicos e condições financeiras para explorar economicamente a agricultura irrigada, gerando baixa produção e altos índices de inadimplência. (RODRIGUEZ, DOMINGUES, 2017). Os resultados em termos de produção e renda abaixo das expectativas, além dos efeitos da crise econômica do país, levaram a paralização dos investimentos nos anos 90. Entretanto, muitos projetos tiveram e têm impactos socioeconômicos significativos. O aumento da eficiência da irrigação em perímetros de irrigação tem potencial de contribuir para a expansão sustentável da agricultura familiar.

17.5 Potencial da irrigação sustentável na agricultura familiar

Apesar de ocupar somente o sétimo lugar em relação a áreas irrigadas, o Brasil é terceiro país com maior área irrigável, atrás somente da Índia e China, conforme mostra o gráfico apresentado por Christophides (2020) e elaborado com base em dados da FAO e ANA.

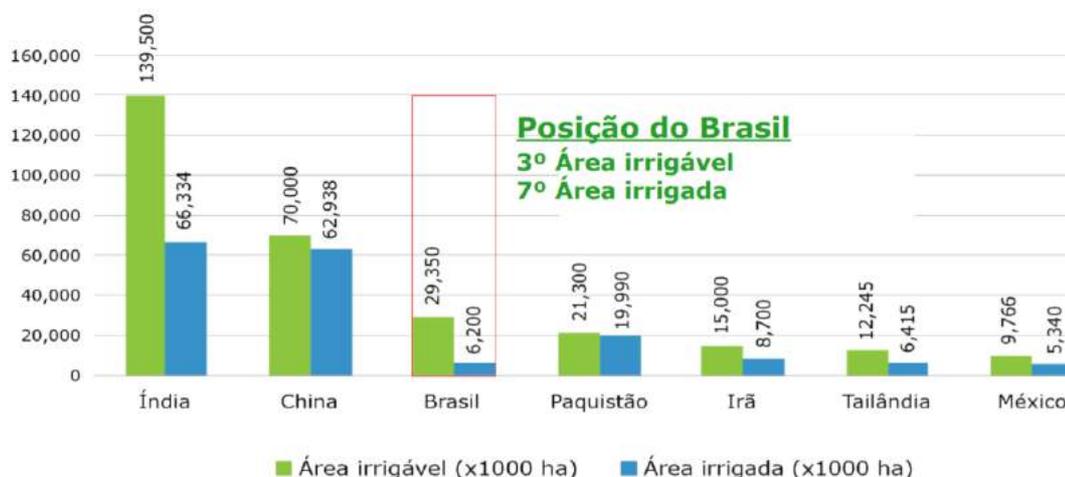


Figura 6. Potencialidade da irrigação no mundo e no Brasil (CHRISTOPHIDES, 2018).

Estudos estimam a área potencial total para agricultura irrigada no Brasil entre 28 e 75 milhões de hectares. (BRASIL, 2014; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2017; BORGHETTI *et al.*, 2016). O trabalho realizado em parceria do Governo Federal com a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) e o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura IICA, classificou as áreas potenciais em 3 categorias: (i) alta aptidão com potencial de expansão de cerca de 22 Mha, (ii) média aptidão, 25 Mha e (iii) baixa aptidão com cerca de 28 Mha (BRASIL, 2014). Este estudo foi recentemente atualizado pelo mesmo grupo.

Uma análise realizada por Barros et al. (2009) identificou algumas causas da grande diferença entre a área irrigada e a área irrigável no país. Os principais pontos são apresentados a seguir: (i) energia elétrica, (ii) pesquisa, tecnologia e assistência técnica, (iii) crédito e incentivos financeiros, (iv) infraestrutura complementar, (v) papel das instituições públicas e privadas, e (vi) gestão de recursos hídricos.

Para a agricultura familiar, as deficiências da assistência técnica são especialmente relevantes. Os trabalhos de Gasques e Alves (GASQUES, 2012; ALVES; SOUZA; ROCHA, 2013; ALVES, SOUZA, 2015), discutidos anteriormente, reforçam a importância da adoção de tecnologia no aumento da renda da agricultura familiar. A difusão e adoção de tecnologia é, entretanto, um tema complexo, o qual envolve aspectos econômicos, políticos, gerenciais, sociológicos e até comportamentais.

Na agricultura familiar, além dos desafios comuns a todos as propriedades rurais os investimentos em irrigação devem considerar as condições básicas para aumentar a produtividade e rentabilidade como: (i) tecnologias adequadas, (ii) assistência técnica, (iii) acesso a mercados, (iv) financiamento e (v) ambiente institucional e social adequado. É imprescindível lembrar que qualquer mudança depende, em última instância, das decisões dos produtores rurais, as quais são determinadas pelos objetivos de todos os membros da família rural e pela rede social na qual as famílias estão inseridas (SILVA JÚNIOR, MANTOVANI, 2017a).

A agricultura familiar no Brasil tem grande potencial de ampliação da oferta de alimentos e geração de renda através da expansão da área irrigada. A produção e rentabilidade dos agricultores dos distritos de irrigação podem ser potencializadas por projetos que viabilizem o acesso estruturado a novos mercados em conjunto com outras iniciativas. A criação de programas específicos, envolvendo geração e difusão de tecnologias e capacitação dos agricultores nas áreas com alta aptidão e presença significativa da agricultura familiar são ações prioritárias.



Figura 7. Condições básicas para a eficiência técnica e econômica na agricultura familiar (SILVA JÚNIOR, 2017a).

Iniciativas que integram sistema de irrigação altamente eficientes, como o pivô central e arranjos institucionais podem viabilizar o aumento da produtividade, o uso racional da água e a rentabilidade dos produtores rurais. Projetos de compartilhamento de pivô central implementados em outros países, em especial na África, demonstram a possibilidade de agricultores familiares aproveitarem de forma coletiva os benefícios da eficiência econômica, hídrica e operacional deste sistema de irrigação. Sistemas compartilhados adicionam novos desafios técnicos e organizacionais, mas são alternativas interessantes para grupos de produtores organizados (BERKLAND *et al.*, 2019).

O projeto Circle desenvolvido pelo Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska em parceria com a empresa Valmont e uma iniciativa em andamento no Oeste da Bahia são exemplos de projetos envolvendo a agricultura família (Silva Júnior, 2018^a). Apesar de poucos resultados consolidados estarem disponíveis a experiência nestes projetos permite identificar os seguintes pontos críticos em iniciativas de irrigação na agricultura familiar (BERKLAND *et al.*, 2019): (i) tecnologia, (ii) financiamento, (iii) mercado e (iv) apoio institucional.

O Instituto *Water for Food* e a empresa Valmont criaram um guia para a análise dos aspectos técnicos e econômicos, sociais, para a implementação do projeto e o acompanhamento da produção agrícola (BERKLAND *et al.*, 2019) que considera 4 áreas prioritárias: (i) Avaliação Técnica e Econômica: Análise visual. Análise de solo. Avaliação hidrogeológica. Layout do Pivô. Avaliação da disponibilidade de energia. Verificação das condições do solo e da água. Estudo de viabilidade técnica. Plano de negócio. Decisão (implementação ou não do projeto), (ii) Aspectos Sociais: Identificação de grupos de produtores potenciais. Busca por parceiros. Análise de questões fundiárias e hídricas. Organização dos agricultores. Plano de negócio. Assinatura de contrato. Preparação do terreno. Início da produção, (iii) Implementação do Projeto: Planejamento do projeto. Plano de fornecimento de água. Seleção de pessoal. Compra de equipamentos. Preparo do terreno. Construção das instalações. Instalação das bombas e equipamentos. Instalação de adutoras. Compra e entrega de equipamentos agrícolas. Instalação do pivô central. Compra de equipamentos para armazenagem e pós-colheita. Verificação do sistema de irrigação completo. Início das operações, (iv) Produção: Financiamento de custeio. Seleção das atividades agrícolas. Insumos agrícolas. Preparo do solo. Plantio. Planejamento da irrigação. Controle de ervas daninhas. Doenças e pragas. Colheita. Pós-colheita.

17.6 Considerações finais

A irrigação foi a tecnologia agrícola chave que permitiu o surgimento e a consolidação das primeiras civilizações na história humana. Atualmente, a agricultura irrigada é responsável pela alimentação de parcela significativa da população mundial, em especial em países como a Índia e China, os quais concentram mais cerca 1/3 da população mundial. Nestes países a maior parte da área irrigada é ocupada pela agricultura familiar. No Brasil, a participação da agricultura familiar no número total de propriedades com irrigação é altamente significativa (92%). Entretanto, em termos de área a participação não chega a 1/3 a área total.

A irrigação tanto na agricultura empresarial quanto na agricultura familiar deve ser implementada de forma sustentável. A água, considerando as dimensões geográfica e temporal, pode ser considerado um recurso limitado e que deve ser gerenciado de forma eficiência, ou seja, de maneira a garantir o suprimento dos seus múltiplos usuários. Sistemas eficientes de gestão dos recursos hídricos têm em comum características como a existência de um sistema eficiente de monitoramento, existência de conjunto de leis com sanções graduais e a existência de vínculo de confiança entre os usuários.

O potencial de expansão da irrigação na agricultura brasileira é altamente expressivo e para a agricultura familiar, esta tecnologia pode desempenhar um papel chave na geração de alimentos e renda, contribuindo para a redução da pobreza rural. Entretanto, a adoção de tecnologia é uma questão complexa que envolve fatores econômicos, sociais e comportamentais e, em especial, capacitação e assistência técnica.

Apesar de diversos problemas como falta de conhecimentos, inadimplência e ineficiência no uso de água, exemplos de sucesso em perímetros de irrigação e experiências recentes de utilização compartilhada de infraestrutura e sistemas de irrigação demonstram a importância de se buscar alternativas que viabilizem a implementação da irrigação na agricultura familiar. Para resolver a questão de escala de produção, muitas destas alternativas pressupõem a organização de grupos de produtores, o que aumenta ainda mais a complexidade do empreendimento. Entretanto o potencial de ganhos de produtividade, renda e bem-estar social são altamente significativos.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas da irrigação no Brasil: uso da água na agricultura irrigada** Brasília, 2017.
- ALVES, E.; SOUZA, G.S. Pequenos estabelecimentos também enriquecem? Pedras e tropeços. **Revista de Política Agrícola**, v.24, n.3, p.7-21, 2015.
- ALVES, E.; SOUZA, G.S.; ROCHA, D.P. Desigualdades nos campos na ótica do censo agropecuário 2006. **Revista de Política Agrícola**, v.22, n.2, p.67-75, 2013.
- BARROS, D.S.; CAVALCANTI, A.A.P.; LUCIANO, A.A.; NAVARRO, A.A.A.L.; BATTISTON, C.C.; ESPÍNDOLA, T. **Relatório final do modelo lógico**. Tema: agricultura irrigada. Brasília, MPOG/SPIE/NTIH/CGECRH, 2009.
- BERBEL, J.; GUTIERREZ-MARTÍN, C.; EXPÓSITO, A. Impacts of irrigation efficiency improvement on water use, water consumption and response to water price at field level. **Agricultural Water Management**, v.203, p.423-429, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.026>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J.A.; CAMACHO, E.; MONTESINOS, P. Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. **Water Resource Management**, v.29, p.663-678, 2015.

- BERKLAND, R.; NEALE, C.U.; SILVA JÚNIOR, A.G.; MANTOVANI, E. Compartilhamento de pivô central na agricultura familiar: experiências na África. **Aiba Rural**, v.12, p.40-43, 2019.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. **Manual de irrigação**. Editora UFV, Viçosa, 2019.
- BORGHETTI, J.R.; SILVA, W.L.C.; NOCKO, H.R.; LOYOLA, L.N.; CHIANCA, G. K. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: Identificação de áreas prioritárias. FAO, Brasília, 2017.
- CHRISTOFIDES, D. Agricultura irrigada no mundo e no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 5. Brasília, 2018.
- ETHICAL TRADING INITIATIVE. ETI smallholders guidelines: recommendations for working with smallholders. **ETI report**. London, UK, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **International year of family farming 2014**. Master plan. FAO: Rome, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture 2014**. Innovation in family farming. FAO: Rome, 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: Identificação de áreas prioritárias. FAO: Brasília, 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Agricultura sustentável no Brasil**: Identificação de áreas prioritárias. FAO: Brasília, 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture 2020**. Overcoming water challenges in agriculture. FAO: Rome, 2020.
- FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SOUZA, J.L.M.; ZOCOLER, J.L. **Planejamento de irrigação**: Análise de decisão de investimento. Embrapa, Brasília, 2005.
- GASQUES, J.G.; BASTOS, E.T.; VALDES, C.; BACCHI, M.R.P. Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, v.21, n.3, p.83-92. 2012.
- GRAFTON, R.Q.; WILLIAMS, J.; PERRY, C.J.; MOLLE, F.; RINGLER, C.; STEDUTO, P.; UDALL, B.; WHEELER, S.A.; WANG, Y.; GARRICK, D.; ALLEN, R.G. **The paradox of irrigation efficiency**: Higher efficiency rarely reduces water consumption, v.361, n.6404, 2020.
- HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science**, v.162, p.1243-1248, 1968.
- HELFAND, S; PEREIRA, V.F; SOARES, V.L. Pequenos e médios produtores na agricultura brasileira: situação atual e perspectivas. In: BUAINAIN, A.M. *et al.* (Ed.). **O mundo rural no Brasil do século 21**: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília/DF: EMBRAPA, p.533-557, 2014.
- HOFFMAN, C.; BURBACH, M.; PENNISI, L. A mixed-methods approach to assessing success in transitioning water management institutions: a case study of the Platte River Basin, Nebraska. **Ecology and Society**, v.20, p.54-64, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 9 dez. 2020
- LANDAU, E.C.; GUIMARAES, D. P.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D.P.; MATRANGOLO, W.J.R.; GONÇALVES, M.T. **Concentração geográfica da agricultura familiar no Brasil**. Embrapa: Sete Lagoas, 2013.
- LOPES, J.C. Importância e Potencial da Irrigação na Agricultura Familiar. **Aiba Rural**, v.10, p.34-37, 2018.
- LOWDER, S.K.; SKOET, J.; SINGH S. What do we really know about the number and distribution of farms and family farms in the world? Background paper for The State of Food and Agriculture 2014. **ESA Working Paper**, n.14-22. Rome, 2014.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação**: Princípios e Métodos. Editora UFV: Viçosa, 2009.

- MANTOVANI, E.C.; SILVA JÚNIOR, A.G. Crise hídrica e versus agricultura irrigada: como compatibilizar. **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.121/122, p.20-27, 2019.
- MANTOVANI, E.C.; SILVA JÚNIOR, A.G. Irrigação como fator de desenvolvimento econômico e social. **Aiba Rural**, v.3, n.7, p.34-35, 2017.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development**. 2020. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological system. **Science**, v.325, p.419-422, 2009.
- OSTROM, E. **Governing the commons: the evolution of institutions for collective actions**. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1990.
- OSTROM, E.; BURGER, J.; FIELD, C.B.; NORGAARD, R.B.; POLICANSKY, D. Revising the commons: local lessons. **Global Challenges**, v.284, p.278-282, 1999.
- RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. **Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. EMBRAPA: Brasília, 2017.
- SIEBERT, S.; HENRICH, V.; FRENKEN, K.; BURKE, J. **Update of the digital global map of irrigation areas to version 5**. FAO: Rome, 2013.
- SILVA JÚNIOR, A.G.; MANTOVANI, E.C. Gobernanza de los recursos hídricos: un ejemplo exitoso en la agricultura. **Pivot Point Latinoamérica**, v.10, p.66-67, 2017a.
- SILVA JÚNIOR, A.G.; MANTOVANI, E.C. Uso sustentável de recursos hídricos para a produção de alimentos: o exemplo do estado de Nebraska, nos EUA. **Aiba Rural**, v.3, n.8, p.62-64, 2017b.
- SILVA JÚNIOR, A.G.; MANTOVANI, E.C.; NEALE, C.M.U. Sistemas de Informação para Gestão Sustentável de Recursos Hídricos na Agricultura: O exemplo do Estado de Nebraska, USA. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.300, v.28, 2018.
- SMITH, M.; MUÑOZ, G.; ALVAREZ, J.S. **Irrigation techniques for small-scale farmers: key practices for DRR implementation**. FAO: Rome, 2014.
- WALLACK, K.J.; SINK, N.K. Managing the water wars of the future. **Journalism of Courage: Archives**. 2007.

CAPÍTULO 18

18 BENEFÍCIOS DIRETOS E INDIRETOS DA IRRIGAÇÃO

Ricardo Gava

Resumo

Os benefícios da irrigação vão muito além da disponibilidade hídrica para atender a demanda da evapotranspiração para atingir altas produtividades. De maneira geral observa-se incremento de produtividade pela adoção da tecnologia de irrigação, sendo que este resultado está associado a uma série de fatores relacionados a diminuição do estresse hídrico, garantia de plantio na data correta, condições adequadas à germinação e emergência para definição de um estande adequado de plantas e, ainda, melhoria na eficiência da ação de herbicidas e fertilizantes, que depende diretamente do conteúdo de água no solo. Inclui ainda nestes benefícios a possibilidades de utilização das práticas de quimigação e, em especial, a fertirrigação proporcionada pelos sistemas de irrigação. Neste sentido é importante uma discussão com informações práticas de pesquisa, apresentar benefícios implementados pela utilização dos sistemas de irrigação, que vão além do incremento de produtividade.

18.1 Introdução

A irrigação é uma técnica que permite o desenvolvimento da agricultura irrigada, possibilitando o plantio contínuo que envolve aumento da produtividade e outros importantes ganhos e, nem sempre adequadamente considerados.

O clima da região do cerrado caracteriza-se por invernos extremamente secos, que não proporcionam condições hídricas adequadas para a semeadura e para o desenvolvimento das culturas, sendo que a irrigação pode proporcionar condições adequadas de umidade de solo para uma boa prática de plantio e condução da lavoura. Aspectos como adequada germinação e emergência das plantas, eficiência de aplicação dos herbicidas, eficiência dos fertilizantes etc., são afetadas pelo *deficit* hídrico e assim, a irrigação tem importância em todos estes processos.

Também importante considerar que na agricultura de sequeiro o plantio e a colheita são muito impactos pela irregularidade da distribuição das chuvas, interferindo na data da semeadura, duração do desenvolvimento da cultura e colheita, além disso impactando no atraso do plantio da segunda safra, fatores estes que irrigação possibilita resolver.

Assim, este capítulo tem o objetivo de discutir informações práticas de pesquisa, apresentar benefícios implementados pela utilização dos sistemas de irrigação, que vão além do incremento de produtividade. A abordagem se dará com exemplos de estudos de caso em condições do Centro-Oeste do Brasil, com relatos de resultados de pesquisa sobre sistema de produção soja-milho irrigados e ainda discussão sobre integração lavoura pecuária.

18.2 Benefícios da irrigação para o início de uma safra

18.2.1 Plantabilidade

As condições de umidade do solo para a realização do plantio/semeadura são essenciais para um bom início de safra. Quanto mais seco o solo está, maior a resistência para a realização da semeadura, menor o recobrimento das sementes e dependendo das características deste solo, ainda há a formação excessiva de torrões que prejudicam muito a boa germinação e por tanto, o estande de plantas.

Assim a plantabilidade, ou seja, às boas condições de plantio dependem da umidade em que o solo no momento da realização da operação.

A região do cerrado caracteriza-se pelo clima tipicamente de inverno extremamente seco e, assim a safra de inverno inicia-se após cerca de cinco meses sem a ocorrência de chuvas. Nestas condições físico-hídricas do solo, não proporcionam condições adequadas para uma boa semeadura ou plantabilidade. Em muitos tipos de solo, torna-se praticamente impossível realizar semeadura antes que ocorra ao menos uma chuva que dê as mínimas condições de friabilidade do solo.

Desta forma é fundamental condições ideais de umidade do solo para a efetiva ação de semeadoras/plantadoras de última geração, normalmente utilizadas nas áreas de produção do cerrado do Centro Oeste.

Assim a irrigação é a tecnologia que proporciona condições ideais de umidade de solo para uma boa prática de plantio.

18.2.2 Garantia de “janela de semeadura”

O risco é parte integrante do dia a dia do produtor que trabalha e investe na produção agrícola. Este risco inicia-se na semeadura. Uma simples mudança de programação da safra, pode comprometer a “janela” ideal de semeadura.

Se o planejamento de rotação de culturas envolve realizar uma safra de soja seguida de uma de algodão safrinha (nome da safra após a colheita da soja precoce em janeiro). Porém nas regiões de Cerrado em função do regime de chuvas ser concentrado no verão, um pequeno atraso da safra de verão, pode inviabilizar a segunda safra e/ou a chamada safra de inverno, ou ainda, safrinha.

Em anos com boas distribuições de chuvas, o produtor do Cerrado Brasileiro consegue realizar duas safras denominadas de cheias. Isso quando as chuvas se iniciam em setembro e se estendem de maneira bem distribuída até maio. Como são regiões com grande disponibilidade de energia solar, são denominadas de duas safras cheias, e não simplesmente de safra e safrinha das regiões mais ao Sul e Sudeste do Brasil.

Mesmo nessas regiões com índices pluviométricos altos, a irregularidade da distribuição das chuvas interfere grandemente na programação de plantio/colheita. Em alguns anos o atraso no início das chuvas interfere na semeadura, gerando necessidades de replantio e impactando no atraso da colheita. Esse atraso na colheita impactará diretamente no plantio da segunda safra, que conseqüentemente será prejudicada pela interrupção das chuvas no meio de seu ciclo.

Assim, a irrigação possibilita a garantia da manutenção da programação das datas ideais de semeadura, reduzindo ou eliminando os riscos hídricos e assim garantindo os resultados de produção e produtividade.

18.2.3 Adequada germinação e emergência para o correto estande de plantas

De nada adianta ter a máquina que melhor distribui as sementes no solo, se a falta de umidade ligada a altas temperaturas do solo, poderão comprometer a germinação e emergência das plantas. Quando se fala em grãos, a garantia do estande ideal é importantíssima por vários fatores. Falhas no plantio geram os mais diversos problemas, incluindo a competição com plantas daninhas.

Mesmo a chuva logo após a semeadura pode ser problema para alguns solos. Muitas áreas quando recebem chuvas fortes logo após o revolvimento do solo, seja ele no plantio convencional, seja o revolvimento apenas do sulco, criam um encrostamento da camada superficial do solo, que se torna uma barreira física à saída da plântula do interior do solo para a superfície.

A irrigação permite que o produtor realize com uma baixa lâmina de irrigação, enfraquece essa camada, e como isso as plântulas emergem com alto vigor.

É importante lembrar que a irrigação na fase inicial, deve ser com pequenas lâminas de água e alta frequência. A redução da temperatura do solo é outro fator altamente relevante na fase de germinação/emergência.

Desta forma, a irrigação permite adequar as condições do solo próximo as sementes, evitando-se o encrostamento da camada superficial e ainda mantendo as temperaturas do solo em condições adequadas na superfície do solo.

18.3 A eficiência dos herbicidas e a umidade do solo

O controle das ervas daninhas exige grandes investimentos nos melhores herbicidas. Fato é que, a eficiência destes produtos é altamente relacionada à umidade do solo. Informações referentes a tecnologia de aplicação orienta que, não só a eficiência dos produtos químicos diminui consideravelmente em condições inadequadas de umidade do solo, como recomendam aplicações em períodos específicos do dia, que exige ampliar o parque de máquinas para conseguir realizar adequadamente tais tarefas.

Chega-se à necessidade de contratação de empresas de aviação para conseguir realizar aplicações rápidas devido às pequenas "janelas" favoráveis à aplicação.

A janela ideal de plantio já é limitada e, se complicam se existe a necessidade de aguardar as primeiras chuvas para fazer a dessecação da área.

Assim, a eficiência dos herbicidas é altamente afetada pela umidade do solo, principalmente quando são pré-emergentes. Deste modo, a necessidade de aguardar as primeiras chuvas para realização da aplicação de herbicidas e, somente após seu período residual realizar a semeadura, implica mais um atraso no início da safra.

Deste modo o uso da irrigação permite adequação da umidade do solo para garantir alta eficiência de atuação dos herbicidas.

18.4 Eficiência dos fertilizantes

A disponibilização dos nutrientes é dada pelo teor de água no solo. Assim, o investimento em fertilizantes de altas tecnologias exige também condições adequadas de umidade do solo, para que estes estejam presentes na solução do solo.

Deste modo a irrigação não só melhora a eficiência e tempo de disponibilização dos nutrientes, como também possibilita a aplicação destes por meio da fertirrigação.

Além de permitir o controle adequado do teor de água do solo, a irrigação ainda permite a aplicação dos nutrientes via fertirrigação. Estas práticas economizam tempo e número de operações, visto que os nutrientes podem ser aplicados juntamente com a “água de irrigação”, evitando a necessidade de entrada de máquinas para esta tarefa.

18.5 Quimigação

Com o advento na tecnologia de aplicação dos adjuvantes, está cada vez mais abrangente o rol de defensivos que podem ser aplicados via sistemas de irrigação. É claro que a escolha do emissor no sistema de irrigação é fundamental, pois, do ponto gotas maiores representam menores perdas por evaporação, cuja dimensão deve também estar de acordo com as recomendações da tecnologia de aplicação, exige-se um padrão mínimo de pulverização dessas gotas.

Ao se escolher um emissor, é preciso prever no projeto a possibilidade de aplicações de herbicidas, inseticidas e até mesmo fungicidas via irrigação para que não haja um escorrimento do produto. Assim, a quimigação de alta eficiência é possível desde que o projeto seja idealizado para esse tipo de manejo, juntamente com a aplicação de água.

18.6 Irrigação Suplementar

Até aqui tratou-se muito da fase inicial dos cultivos e sua alta dependência da condição ideal de umidade do solo. Claro que também é importante que durante o ciclo dos cultivos, é necessário condições de umidade adequadas no solo para permitir a hidratação dos tecidos vegetais, evitando-se o estresse hídrico.

Os produtores brasileiros estão cada vez mais atentos às novas tecnologias e investem quando a tecnologia permite ganhos de produtividades significativas por hectare. Mas este investimento pode ser frustrado caso haja falta de chuvas, que não permitam condições mínimas e, o investimento muitas vezes é perdido.

Mesmo em regiões com altos índices pluviométricos, ainda sim podem ocorrer os veranicos, que são intervalos secos em plena época de chuvosa e, por esse mesmo motivo, muito difícil de prever com exatidão. As chuvas são muito variáveis e a ocorrência de veranico pode ocorrer com grande variabilidade espacial, implicando problema em uma determinada lavoura e não em área vizinha.

Com isso o produtor fica “refém” do clima, afetando o seu planejamento, visto que a falta de chuva pode atrasar a semeadura e prejudicar a janela de plantio, ou ainda, intervalos sem chuva logo no início podem levar o produtor a ter que refazer o plantio, resultando em mais custos e atrasos.

Mas o maior problema é quando o veranico ocorre durante a fase de floração e de enchimento de grãos. De maneira geral, a cultura da soja tem bastante disponibilidade de chuvas, porém, pequenos intervalos sem chuva justamente no enchimento de grãos representam perdas de produtividade significativas.

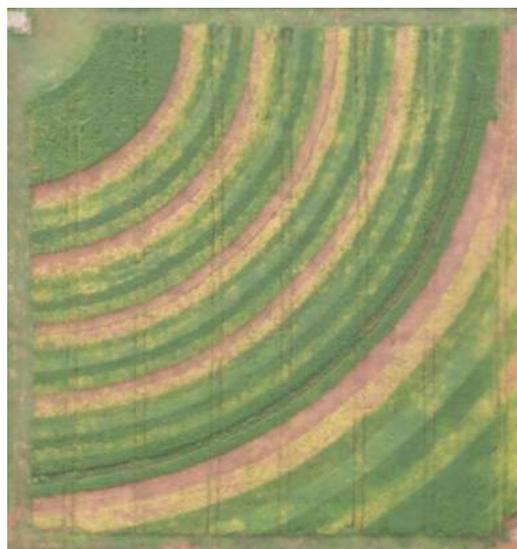
É o caso principalmente de safras em que o regime de chuva é favorável no estágio vegetativo, aclimatando a cultura às condições de baixa insolação, temperaturas amenas e alta disponibilidade de água no solo. Nessas condições, caso ocorram veranicos, as plantas são afetadas em seus processos fisiológicos, proporcionando estresse ao qual elas não estavam preparadas (aclimatadas).



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 1. Área experimental de soja irrigada por pivô central, com diferentes manejos de irrigação, em Chapadão do Sul-MS. (A) Safra 2014/2015. (B) Safra 2015/2016. (C) Safra 2016/2017. (D) Safra 2017/2018. (E) Safra 2018/2019.

Quando estas ocorrências acontecem na fase de enchimento de grãos, o *deficit* hídrico proporciona perdas de produtividade até de 60%. Isso pode ser explicado pelo menor desenvolvimento radicular em anos que a soja recebe excesso de chuva nas fases iniciais. Outro agravante é que esse excesso está associado a presença de muitas nuvens e, assim, menos radiação solar disponíveis para as plantas.

Em praticamente todas as safras, a falta chuva em algum momento do ciclo e a magnitude dos prejuízos, dependem em qual estágio fenológico isso ocorre, devendo-se ainda considerar as características de cada cultivar, bem como o manejo adotado. O uso de cobertura morta com gramíneas, a exemplo da braquiária auxiliam, mas sozinha não resolve.

Uma parceria entre a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Chapadão do Sul, e a Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão (FUNDAÇÃO CHAPADÃO) resultou na avaliação da viabilidade econômica da implantação de manejos utilizando a irrigação.

Foram testadas, em cinco anos de pesquisa, 19 cultivares comerciais de soja com diferentes ciclos e tecnologias como as RR e IPRO (tolerantes à Glifosato e a lagarta). Na Figura 1 apresenta-se uma vista da área experimental das diversas safras e na Figura 2 apresentam-se a produtividade irrigada e sequeiro para as diferentes safras avaliadas.

Os resultados mostram que os diferentes materiais genéticos (cultivares) apresentam respostas diferentes aos manejos de irrigação.

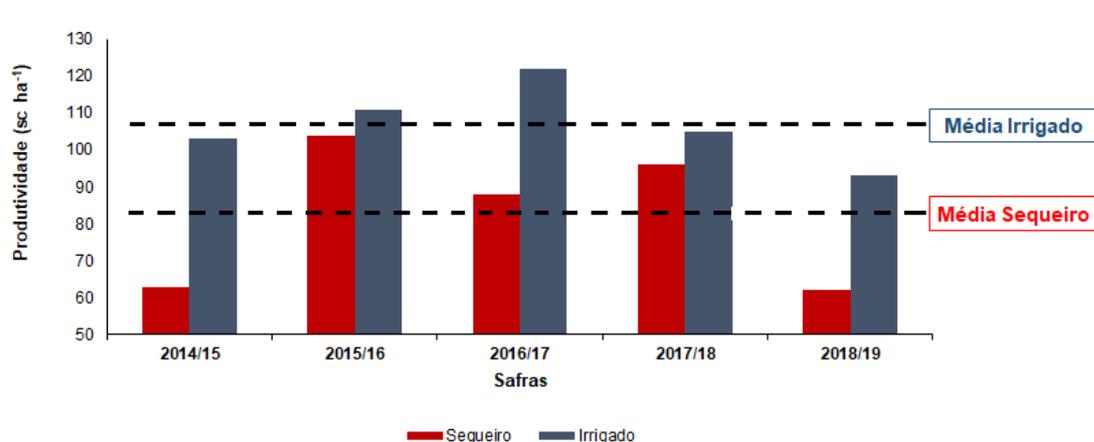


Figura 2. Comparação entre o sequeiro e o irrigado em 5 safras consecutivas de soja para as condições do cerrado.

Observa-se uma vantagem média de 23 sc ha⁻¹ para as áreas irrigadas, na média das cinco safras estudadas. Porém, é importante observar que a diferença foi bem maior nas safras 2014/15, 2016/17 e 2018/19, safras estas em que tiveram maiores períodos sem chuva durante o ciclo (Figura 3).

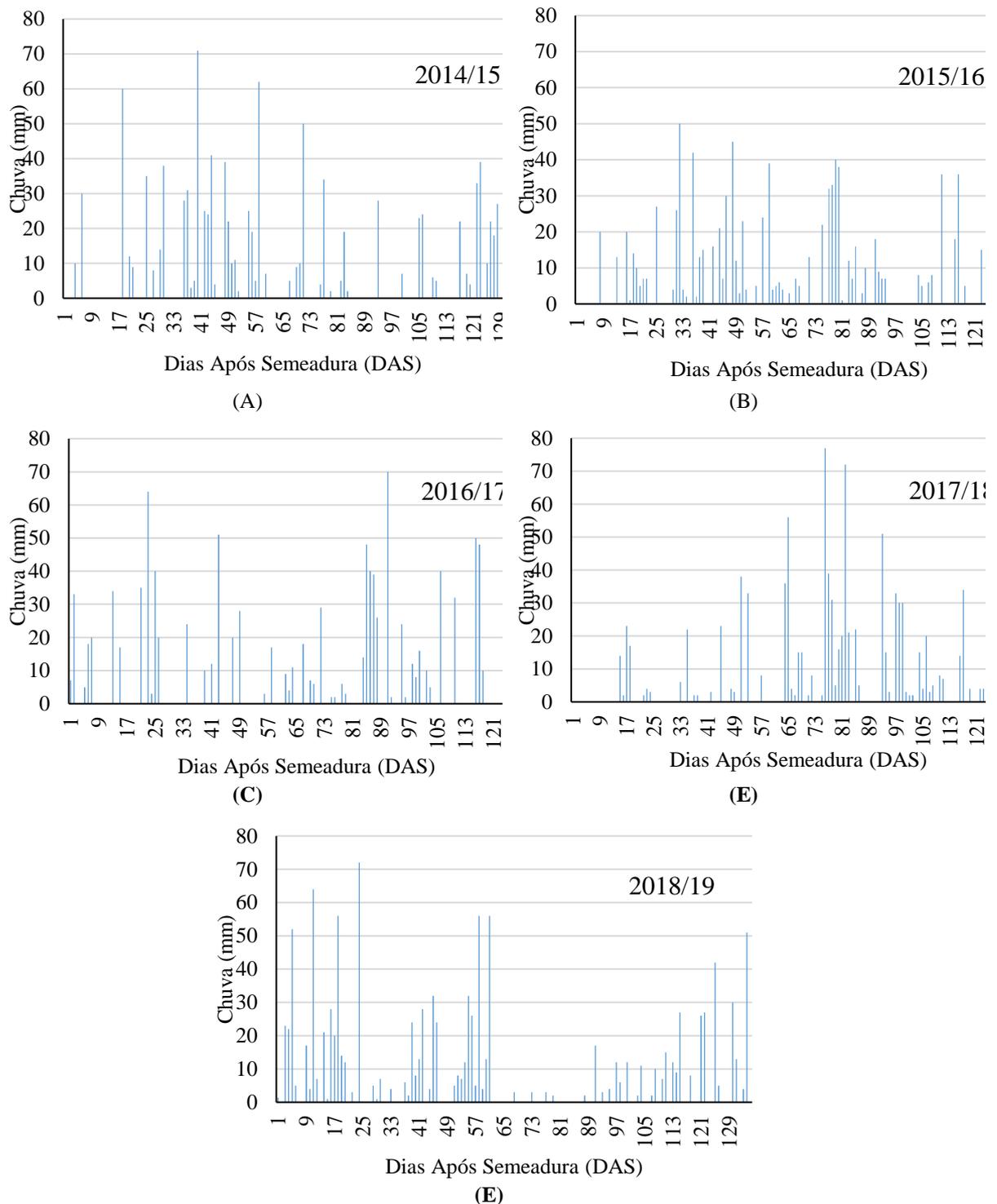


Figura 3. Chuvas durante o ciclo de cultivo nas safras de soja 2014/15 (A), 2015/16 (B), 2016/17 (C), 2017/18 (D) e 2018/19 (E), na região de Chapadão do Sul-MS.

Na Tabela 1 apresenta-se os valores de produtividade, das cinco safras consecutivas de soja, comparando os resultados obtidos em condições de sequeiro e de irrigação, bem como a variação de produtividade em sacas por hectare, o nível de *deficit* hídrico obtido pelo balanço hídrico utilizando a metodologia de Allen et al. (1998), e ainda o estágio fenológico em que este nível de *deficit* ocorreu em maior intensidade para a respectiva safra.

Tabela 1. Ocorrência de *deficit* hídrico nos diferentes estádios fenológicos da soja.

Safra	Sequeiro	Irrigado	Varição	<i>Deficit</i> hídrico	Estádio
		sc ha ⁻¹			
2014/15	63	103	39	Severo	Enchimento
2015/16	104	111	6	Moderado	Semeadura
2016/17	88	122	28	Severo	Floração
2017/18	96	105	9	Severo	Vegetativo
2018/19	62	93	33	Severo	Enchimento
Média	83	107	23		

Para avaliar a disponibilidade de energia na safra, analisou-se a radiação solar acumulada em cada período de 30 dias após a semeadura em cada safra, destacando os períodos em que esta ficou fora da média.

Na Tabela 2 apresenta-se o comportamento da radiação solar de cada safra em relação à média normal. Observou-se que a radiação ficou abaixo da média em praticamente todo o ciclo na Safra 2014/2015. Com isso os cultivares de ciclo mais longo passaram a receber radiação muito elevada justamente no período de enchimento de grãos, e esse estresse combinado com a baixa de disponibilidade de água no solo, gerou perdas de produtividade nas áreas não irrigadas.

Na safra 2015/2016, em que as diferenças foram pouco expressivas entre o irrigado e sequeiro, pode ser explicada pela ausência de veranico. A alta radiação solar desde a semeadura até o início do enchimento de grãos, possibilitou uma aclimação das plantas, levando-as a não sofrerem grandes problemas.

Tabela 2. Radiação acumulada em cada período de 30 dias após a semeadura (DAS), abaixo ou acima da média normal.

Safra	Data de Semeadura	Radiação acumulada nos subperíodos DAS				Produtividade (sc ha ⁻¹)	
		30	60	90	120	Sequeiro	Irrigado
2014/2015	15 de outubro	Abaixo	Abaixo	Abaixo	Acima	63	103
2015/2016	15 de outubro	Acima	Acima	Acima	Abaixo	104	111
2016/2017	19 de outubro	Acima	Acima	Abaixo	Abaixo	88	122
2017/2018	15 de setembro	Abaixo	Acima	Acima	Abaixo	96	105
2018/2019	25 de setembro	Acima	Abaixo	Acima	Acima	62	93

Os custos variáveis médios de energia com a irrigação nas cinco safras ficaram na faixa de 5 sc ha⁻¹ por safra.

Anos com muita chuva trazem também muita nebulosidade e com isso pouca radiação solar para as plantas. Com isso, embora as plantas tenham água em quantidades favoráveis no solo, faltará luz suficiente para manter o teto produtivo. A irrigação consegue aplicar água sem que ocorra redução da radiação solar. Frente aos desafios de produzir mais e melhor, a irrigação se apresenta como uma ferramenta que traz segurança ao produtor.

É possível controlar pragas, doenças, pois existem excelentes produtos no mercado e com uma boa assessoria técnica, dificilmente o produtor terá problemas. Porém, chuva é um fator que não pode ser controlado. Se faltar chuva, todo o investimento em insumos realizado para aquela safra é perdido.

O Brasil é repleto de recursos hídricos na maior parte de seu território. Porém, um dos maiores problemas para a agricultura irrigada ainda é a falta de fornecimento de energia elétrica. Ações governamentais precisam melhorar no sentido de ampliar a distribuição de

energia, ou até mesmo facilitar o acesso à energia de fontes renováveis, às propriedades rurais.

A maioria das regiões do país tem solo, água e todas as condições para realizar a agricultura irrigada, porém, muitas propriedades ainda contam apenas com redes monofásicas, o que impossibilita a viabilização de sistemas de bombeamento para irrigações de médio e grande porte.

18.7 Irrigação Plena

Se por um lado a irrigação suplementar ocorre em pequenas proporções, quando se chega no período seco, em que a suplementação é praticamente toda realizada artificialmente pela irrigação, ou seja, ela ocorre de maneira plena durante a safra daquele período.

Desta forma, torna-se óbvio que os custos da irrigação plena se tornarão muito mais altos do que às irrigações esporádicas.

A irrigação suplementar da "safra" garante a estabilidade de produção alcançando o teto produtivo das respectivas culturas, apenas como poucas irrigações nos momentos críticos. Porém, todo o lucro pode ser perdido se não feita a escolha correta da cultura do período seco. A tomada de decisão sobre qual cultura irrigar de maneira plena, vai lhe retornar um sistema de produção viável ou não!

Tudo o que o irrigante ganhou na "safra" ele pode perder na "safrinha" devido à alta necessidade de irrigação de uma cultura de pequeno retorno econômico.

Seria o sistema soja seguida de milho a melhor escolha? Ou seria mais interessante utilizar a soja e o milho como rotação de "safra verão" (Isso depende da região do país. Por tanto, vamos considerar aqui a safra de verão como sendo a safra em que chove mais, por representar as situações mais comuns das áreas agrícolas do Brasil.

No Centro-oeste Brasileiro temos a característica de muita disponibilidade de energia solar no ano todo, porém, falta de chuvas no inverno. Assim, ao possibilitarmos a aplicação de água para as plantas através da irrigação, já não se fala mais em 2,5 a 3,0 safras por ano, mas sim, em agricultura contínua.

Isso porque, muitos zoneamentos de cultivos, são afetados fortemente pelos ciclos de chuva, mais do que pelos graus dia, ou datas de plantio em si. As probabilidades de início e fim de chuvas, afetam fortemente às análises de Zoneamento Agrícola. Então, torna-se claro, a necessidade de estudos para zoneamento agrícola para áreas irrigadas.

Se não há limitação de água, qual seria a melhor opção de data de semeadura? Essa é a pergunta que nossa pesquisa precisa responder.

O milho na segunda safra, popularmente conhecido como milho safrinha no Brasil, é amplamente utilizado no Brasil, não somente devido a necessidade de rotação de culturas, mas também por apresentar uma certa tolerância a *deficit* hídrico. Semeado entre os meses de fevereiro e março, geralmente após a colheita da soja, o milho safrinha chega ao seu estágio fenológico de enchimento de grãos em uma época que, na maioria das regiões brasileiras, a frequência de chuvas já diminuiu consideravelmente.

Uma estratégia utilizada pelos produtores rurais é buscar cultivares de soja de ciclos precoces, visando melhorar a janela de semeadura do milho safrinha, aproveitando melhor a estação chuvosa para ambas as culturas. Porém, é importante atentar-se para a escolha dos cultivares de soja e híbridos de milho que melhor se adaptam a cada região.

Atualmente, há uma ampla gama de híbridos com potencial produtivo elevados, oriundos de diversas empresas detentoras de sementes, e com isso a pesquisa aplicada deve ocorrer ano após anos testando estes novos híbridos e variedades desenvolvidas pela indústria, como é o caso da pesquisa apresentada na Figura 4.

Portanto, a escolha do material genético sob irrigação vai depender principalmente da sanidade e resposta aos fungicidas, com relação às principais doenças ocorridas na cultura, tanto foliares como as de colmo e grãos; maior tolerância às pragas, como a cigarrinha que nos últimos anos vem apresentando ataque severo em algumas regiões, causando enfezamento e reduzindo a produtividade.

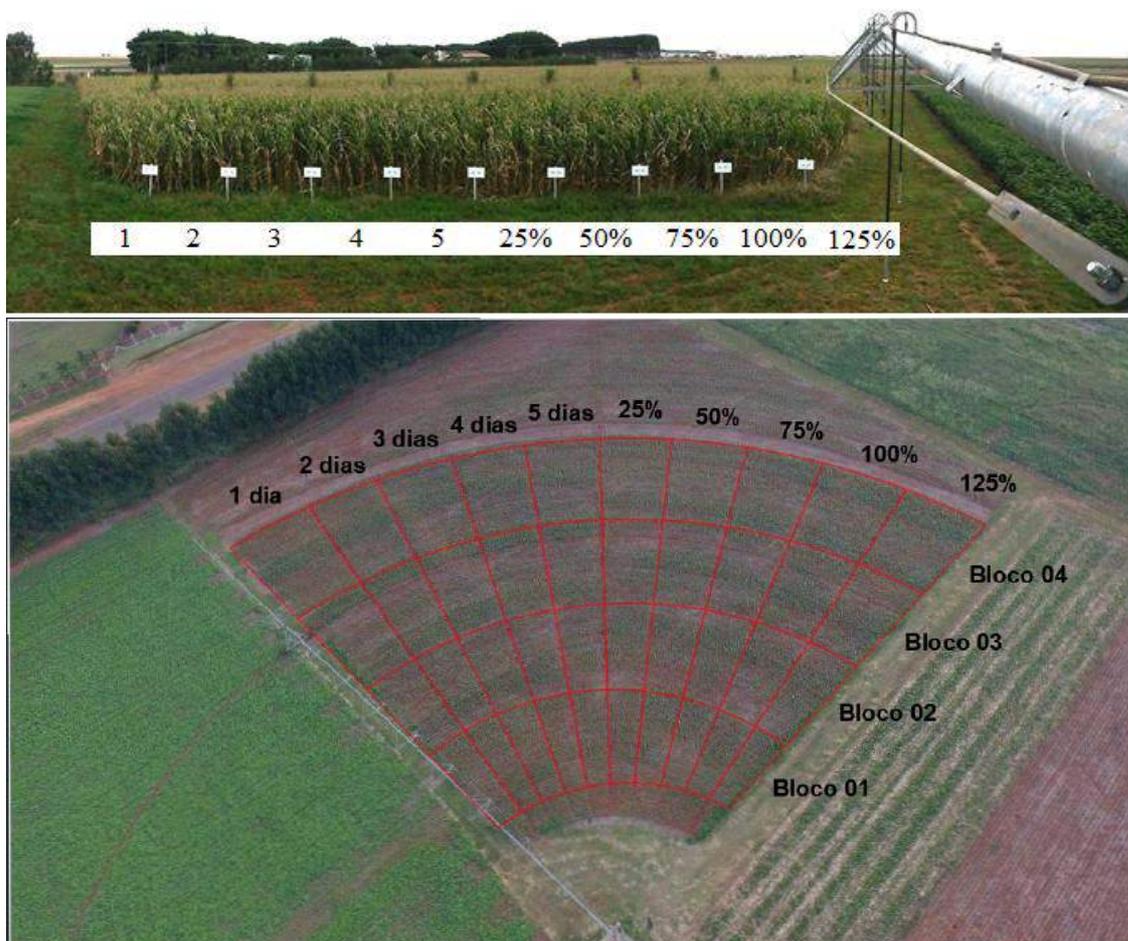


Figura 4. Área experimental de milho irrigado por pivô central e do detalhamento das parcelas experimentais, com manejos de frequências de 1, 2, 3, 4 e 5 dias e lâminas de 25 a 125% de reposição da evapotranspiração, Chapadão do Sul, MS.

Na Figura 4, observou-se uma área em que foram testados 10 manejos de irrigação, em dois híbridos de milho safrinha e em 3 populações de plantas sob pivô central (pesquisa aplicada). Os dois híbridos foram Dow 2B 810 PW e Morgan MG 652 PW, e submetidos às populações de 55, 66 (recomendado pela empresa detentora das sementes) e 77 mil plantas por hectare.

A irrigação foi realizada com frequências de irrigação de 1 (irrigação todos os dias), 2, 3, 4 e 5 dias, e as lâminas de 25, 50, 75, 100 e 125% de reposição da evapotranspiração potencial da cultura (ETc): (Frequência). Espera-se que altas frequências de irrigação, proporcionem melhores eficiências, do ponto de vista do aproveitamento da água pela planta. Porém, no caso dos sistemas de aspersão, como é o caso do sistema de Pivô Central, o

molhamento frequente das plantas pode favorecer o desenvolvimento de Pragas e Doenças; e (Lâminas) Se por um lado a alta frequência de Irrigação pode prejudicar algumas culturas devido ao surgimento de pragas e doenças, por outro as lâminas de excesso de água podem além de criar um microclima favorável à elas, podem diminuir a aeração do solo, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular e com isso diminuindo a sustentação da planta e o volume de contato com o solo onde estão presentes os nutrientes. Em solos arenosos pode causar ainda a lixiviação dos nutrientes aplicados.

Muitos trabalhos de pesquisa relatam a competitividade por água, nutrientes e até por radiação solar, quando relacionam fatores ligados à espaçamento e população de plantas. Assim essa pesquisa mostrou, dentre os híbridos testados, qual deles mais responde à irrigação, qual a população indicada e qual o manejo de irrigação obteve o melhor resultado.

Na Figura 5 é possível observar que o sequeiro sofreu deficits hídricos moderados já a partir dos 45 DAE (dias após a emergência), e após os 60 DAE permaneceu em *deficit* até o final do ciclo com poucas precipitações.

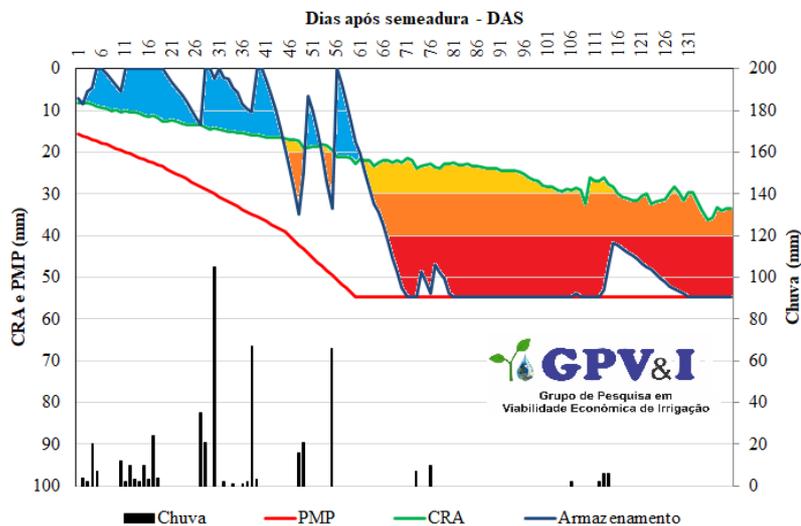


Figura 5. Ocorrência de chuvas durante o experimento e *deficit* hídrico ocorrido nas parcelas sem irrigação.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de produtividade em sacas por hectare, bem como da interação entre a irrigação e o sequeiro, os híbridos e as populações, para o manejo de diferentes frequências de irrigação.

Os resultados mostraram que é possível aumentar a produtividade em áreas de milho safrinha irrigado, aumentando a população acima do recomendado para áreas de sequeiro, dependendo da escolha do híbrido.

Assim é importante o agricultor definir sua meta de produtividade aliada ao seu custo de produção.

O melhor resultado foi obtido com a frequência de irrigação de 3 dias, chegando à 220 sc ha⁻¹, com o híbrido Morgan MG 652 PW. Já na condição de sequeiro o melhor resultado foi alcançado com o híbrido Dow 2B 810 PW, alcançando 162 sc ha⁻¹. Apesar do resultado, alertamos que cada caso deve ser analisado com atenção. Diferentes híbridos possuem diferentes comportamentos em diferentes regiões. É importante ainda ter em conta que, dependendo da região que se deseja produzir, os híbridos aqui citados podem não apresentar os mesmos desempenhos. É muito importante procurar uma assessoria.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados de produtividade em sacas por hectare, bem como da interação entre a irrigação e o sequeiro, os híbridos e as populações, para o manejo de diferentes lâminas de irrigação.

Tabela 3. Desdobramento estatístico da interação irrigação x híbridos x população de plantas, para as diferentes frequências de irrigação.

Frequência de Irrigação – Híbridos - População		Produtividade em sacas por hectare		
		População 1	População 2	População 3
Sequeiro (Sem irrigação)	Dow 2B 810 PW	118,5 Ab	152,4 Aa	162,2 Aa
	Morgan MG 652 PW	120,8 Aa	126,6 Ab	145,5 Ac
Irigado 1 Frequência Diária	Dow 2B 810 PW	162,3 Ab	166,1 Aa	167,7 Aa
	Morgan MG 652 PW	127,6 Ba	145,8 Aab	165,9 Abc
Irigado 2 Frequência de 2 Dias	Dow 2B 810 PW	179,1 Aa	190,0 Aa	192,0 Aa
	Morgan MG 652 PW	148,9 Ba	177,5 Aa	204,9 Aab
Irigado 3 Frequência de 3 Dias	Dow 2B 810 PW	168,1 Aa	176,7 Aa	182,6 Ba
	Morgan MG 652 PW	156,4 Aa	176,9 Aa	220,1 Aa
Irigado 4 Frequência de 4 Dias	Dow 2B 810 PW	173,3 Aa	190,7 Aa	181,2 Aa
	Morgan MG 652 PW	152,9 Aa	148,3 Bab	206,1 Aab
Irigado 5 Frequência de 5 Dias	Dow 2B 810 PW	174,9 Aa	171,3 Aa	176,1 Aa
	Morgan MG 652 PW	157,1 Aa	169,9 Aab	204,8 Aab

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diferença entre as Colunas – Classificação com letras Minúsculas. DMS = 46,4334.

Diferença entre as Linhas - Classificação com letras Maiúsculas. DMS = 29,2652.

Tabela 4. Desdobramento estatístico da interação irrigação x híbridos x população de plantas, para as diferentes lâminas de irrigação.

Lâmina de irrigação	Híbridos	Produtividade (sc ha ⁻¹)		
		População 1	População 2	População 3
Sequeiro (Sem irrigação)	Dow 2B 810 PW	118,5 Ab	152,4 Aa	162,2 Aa
	Morgan MG 652 PW	120,8 Aa	126,6 Ba	145,5 Aa
Irigado 25% Lâmina de Água	Dow 2B 810 PW	163,3 Aa	174,3 Aa	172,8 Aa
	Morgan MG 652 PW	151,3 Ab	170,7 Aab	190,3 Aa
Irigado 50% Lâmina de Água	Dow 2B 810 PW	176,3 Aa	165,9 Aa	175,3 Aa
	Morgan MG 652 PW	159,3 Aa	172,8 Aa	189,3 Aa
Irigado 75% Lâmina de Água	Dow 2B 810 PW	163,3 Aa	167,1 Aa	168,1 Aa
	Morgan MG 652 PW	152,6 Aa	163,7 Aa	187,7 Aa
Irigado 100% Lâmina de Água	Dow 2B 810 PW	175,5 Aa	181,2 Aa	185,4 Aa
	Morgan MG 652 PW	154,7 Ab	151,5 Ab	193,7 Aa
Irigado 125% Lâmina de Água	Dow 2B 810 PW	182,6 Aa	195,2 Aa	194,5 Aa
	Morgan MG 652 PW	113,2 Bb	164,4 Aa	159,3 Ba

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diferença entre as Colunas – Classificação com letras Minúsculas. DMS = 38,0482.

Diferença entre as Linhas - Classificação com letras Maiúsculas. DMS = 11,1342.

Na Figura 6 mostra-se que a melhor lâmina de irrigação, para todas as populações testadas, ficou próxima de 80% da ETc. É importante ressaltar que embora a melhor lâmina deveria estar em torno de 100% do ponto de vista a reposição de água, mas existem outros fatores como já citados anteriormente.

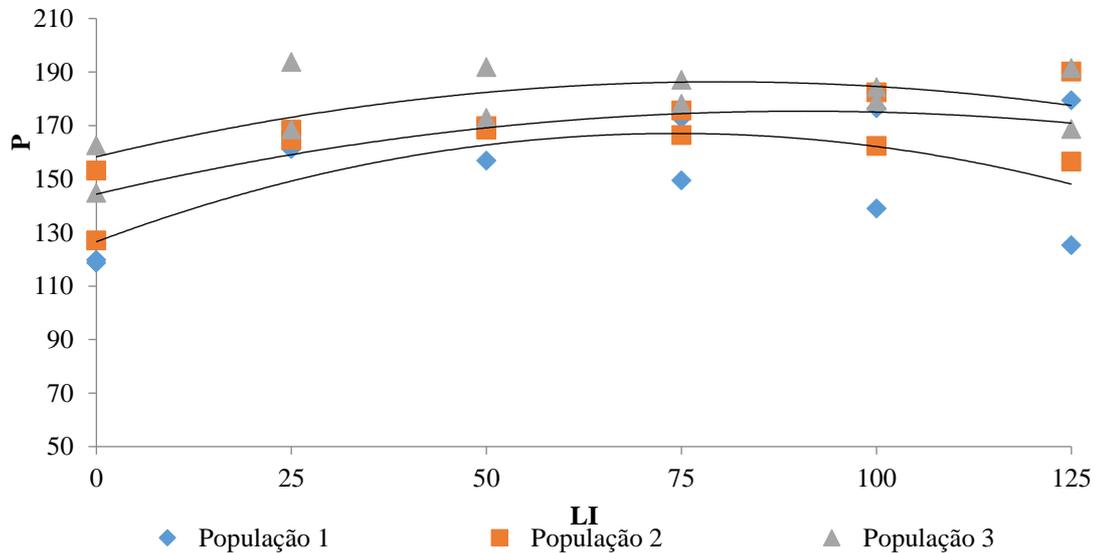


Figura 6. Produtividade do milho (P, sc ha⁻¹) safrinha em função da lâmina de irrigação (LI, % ETc).

Já na Figura 7, ao analisarmos as médias gerais dos híbridos nas diferentes populações, o sequeiro propiciou reduções de produtividade de cerca de 40 sc ha⁻¹, independente a população testada. Os melhores resultados foram obtidos com a população acima da recomendada para ambas as condições, sequeiro e irrigado. Entre as lâminas os resultados foram muito próximos.

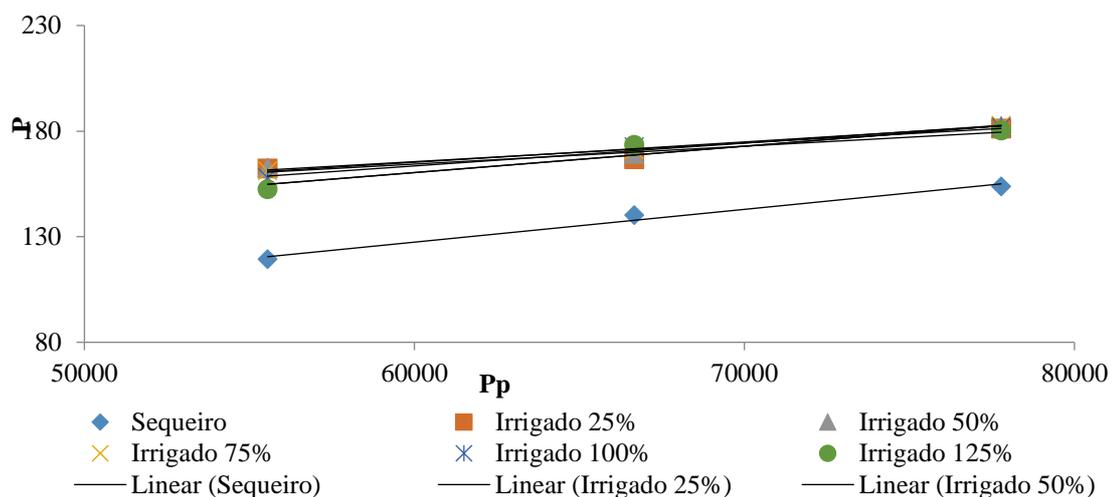


Figura 7. Produtividade do milho (P, sc ha⁻¹) safrinha em função da população de plantas (Pp, plantas ha⁻¹).

18.8 Produção contínua e integrada

É viável irrigar soja? É viável irrigar milho? São perguntas comuns quando um produtor de grãos de uma determinada região resolve iniciar-se na irrigação. Fato é que agricultura

irrigada não se viabiliza com uma única cultura. É preciso planejar o sistema de produção que será adotado.

Um outro fator importante é a rotação de culturas para interromper ciclos de pragas/doenças. Desta forma a integração lavoura pecuária vem ganhando cada vez mais força também nos sistemas de produção irrigados.

Uma prática comum é utilizar os cantos dos pivôs para pastejo do gado. Na época das chuvas, em que o pasto está farto, é calculada uma ocupação em que a área dos cantos seja suficiente para aquele número de cabeças de gado. Quando chega o inverno seco e a pastagem começa a diminuir, libera-se este gado para pastejo dentro da área do pivô. É comum nesse sistema de produção, o plantio do milho consorciado com braquiária para que após a colheita do milho, o gado possa se alimentar da braquiária e dos restos de produção do milho.

A integração lavoura pecuária ainda permite a incorporação de ureia e a matéria orgânica provenientes dos dejetos dos animais.

Uma outra forma importante de ocupar os cantos dos pivôs é com a produção de madeira de florestas plantadas (Figura 8). A ocupação desses cantos com eucalipto por exemplo, além de produzir madeira para os mais diversos usos, como combustível para secadores de grãos, ainda trazem benefícios indiretos como ambiente favorável à reprodução de inimigos naturais e até mesmo efeito quebra-vento.



Figura 8. Aproveitamento dos cantos do Pivô (Imagem do *Google Earth*).

Ainda sobre possibilidades de ocupação econômica dos cantos do pivô, é utilizá-los como área de compensação ambiental, visto que a relação de área quadrada e área circular gera uma “perda” de aproximadamente 21% nos cantos. A Tabela 5 nos mostra a relação entre área quadrada e a área circular de um pivô centralizado em tal área. Se considerarmos as condições de campo em que nem sempre as áreas formam um quadrado exato em torno do círculo do pivô, essa relação pode sofrer variações.

Tabela 5. Relação entre a área retangular e os cantos do pivô central.

Área quadrada ha	Pivô central		Cantos	
	Área (ha)	Raio	ha	%
25	20	252	5	21
51	40	357	11	21
76	60	437	16	21
102	80	505	22	21
127	100	564	27	21
153	120	618	33	21
178	140	668	38	21

18.9 Considerações finais

No passado a adição de tecnologia de irrigação na agricultura de sequeiro teve como objetivo a aplicação de água com foco no aumento de produtividade. Com o passar do tempo buscou-se a melhoria da eficiência destes sistemas, voltados para a eficiência do uso da água, pesquisando assuntos como manejo de *deficit* hídrico, repondo parcialmente a água evapotranspirada pelas plantas, para redução dos custos de aplicação.

Mais recentemente a irrigação suplementar, passou a ser indicada também para regiões que, embora possuam bons regimes pluviométricos, observa-se a ocorrência de veranicos. A estabilidade nas safras garante produtividade potencial e eficiência dos insumos agrícolas aplicados, sem contar os inúmeros benefícios ambientais obtidos como a regularização da vazão dos rios, redução de assoreamentos, geração de energia, bem como “planos produtores de águas”, que incentivam os produtores adotarem práticas conservacionistas.

Nesta evolução da irrigação observa-se mudanças relacionadas inicialmente a busca da viabilidade econômica via incremento de produção, para manejos que levam em conta o uso do *deficit* hídrico controlado e assim uma melhor relação produtividade e uso da água, proporcionando o foco da eficiência do uso da água, que tomou conta das publicações científicas.

Assim, os benefícios diretos e indiretos que a agricultura irrigada proporciona vão além do incremento de produção e da rentabilidade, possibilitando de forma efetiva o aumento em quantidade e qualidade na geração de emprego, aumento efetivo da renda local e da região, com forte impacto social relacionada a melhoria da qualidade de vida da região sob impacto da agricultura irrigada.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Rome: FAO, 1998. 301p. (FAO. Irrigation Paper, 56).

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DE MATO GROSSO DO SUL. APROSOJA-MS. Disponível em: <http://sistemafamasul.com.br/aprosoja-ms/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

ASSOCIAÇÃO SUL MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. AMPASUL. Disponível em: <http://www.ampasul.org.br/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

COMPAGNON, A.M.; GAVA, R.; DALPASQUALE, V.A.; MARTINS, C.H. PSICRO 2009. Programa computacional para determinação das propriedades psicrométricas do ar. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.3, p.251-269, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

COTRIM, M.F.; SILVA, J.B.; LOURENÇO, F.M.S.; TEIXEIRA, A.V.; GAVA, R.; ALVES, C.Z.; CANDIDO, A.C.S.; CAMPOS, C.N.S.; PEREIRA, M.D.; TORRES, S.B.; BACCHETTA, G.; TEODORO, P.E. Studying the link between physiological performance of *Crotalaria ochroleuca* and the distribution of Ca, P, K and S in seeds with X-ray fluorescence. **PLoS One**, v.14, p.e0222987, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

FREITAS, P.S.L.; GAVA, R.; TEIXEIRA DE FARIA, ROGÉRIO; REZENDE, Roberto; VIEIRA, PAULO VINICIUS DEMENECK. Soil evaporation under different straw mulch fractions. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, p.1793-1800, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Relatórios. Disponível em: <https://www.fao.org.br>. Acesso em: 1 fev. 2021.

GAVA, R.; ANSELMO, J.L.; NEALE, C.M.U.; FRIZZONE, J.A.; LEAL, A.J.F. Different soybean plant populations under central pivot irrigation. **Engenharia Agrícola**, v.37, p.441-452, 2017.

GAVA, R.; BORGES, E.P.; ANSELMO, J.L.; ANDRADE, B.G. Lavoura irrigada - Soja. **Cultivar Grandes Culturas**, v.8, p.28-31, 2019.

GAVA, R.; COTRIM, M.F.; KÜHN, I.E.; WASSOLOWSKI, C.R.; MARTINS, P.H.A.; TEODORO, P.E. Water availability for high yield of soybean cultivars. **Research, Society and Development**, v.9, p.53963373, 2020.

GAVA, R.; DA SILVA, E.E.; BAILO, F.H.R. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.10, p.154-162, 2016.

GAVA, R.; FREITAS, P.S.L. DE; FARIA, R.T.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A. Soil water evaporation under densities of coverage with vegetable residue. **Engenharia Agrícola** (Impresso), v.33, p.89-98, 2013.

GAVA, R.; FREITAS, P.S.L.; JOSE, J.V.; SALVESTRO, A.C. Eficiência de sistemas da aplicação de vinhaça visando economia e consciência ambiental. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.3, p.111-129, 2010.

GAVA, R.; FRIZZONE, J.A.; SNYDER, R.L.; DE ALMEIDA, B.M.; DE FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de *deficit* hídrico na irrigação da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.10, p.305-315, 2016.

GAVA, R.; FRIZZONE, J.A.; SNYDER, R.L.; JOSE, J.V.; JUNIOR, E.F.F.; PERBONI, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, p.349-359, 2015.

GAVA, R.; LIMA, S.F.; SANTOS, O.F.; ANSELMO, J.L.; COTRIM, M.F.; KÜHN, I.E. Water depths for different soybean cultivars in center pivot. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.10-15, 2018.

GAVA, R.; NEALE, C.M.U.; FRIZZONE, J.A.; ANSELMO, J.L.; COTRIM, M.F.; KUHN, I. E. Performance of maize hybrids subject to different application depths under center pivot. **Water Resources and Irrigation Management**, v.6, p.161-168, 2017.

GAVA, R.; SCARPIN, I.M.; BAILO, F.H.R.; WASSOLOWSKI, C.R.; NEVES, D.C. Time available for spraying and mechanized sowing in the northeast of the state of Mato Grosso do Sul and south of Goiás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.38, p.443-450, 2018.

GAVA, R.; SILVA, T.R.; COTRIM, M.F.; ABREU, A.B.L.; ANSELMO, J.L.; TEODORO, P.E. Irrigation management in soybean crops influences the occurrence of nematodes in the soil. **Bioscience Journal**, v.36, p.1645-1651, 2020.

GAVA, R.; SNYDER, R.L.; FRIZZONE, J.A.; KÜHN, I.E.; COTRIM, M.F.; PIATI, G.L. Maize second season irrigated by center pivot in sandy soil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, p.2554-2560, 2018.

GRANATO, J.A.; GAVA, R.; JOSE, J.V.; SALVESTRO, A.C. **Influência da adição de um adjuvante à calda de pulverização aérea sobre a faixa de deposição total**. Iniciação Científica - CESUMAR, v.11, p.103-110, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. IMASUL. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 26 mar. 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Soja lidera exportações do agronegócio brasileiro, Mapa. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 1 fev. 2021.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; TEODORO, P.E.; SILVA JUNIOR, C.A.; BAILO, F.H.R.; GAVA, R.; CAPRISTO-SILVA, G.F.; GOIS, G.; CORREIA FILHO, W.L.F.; LIMA, M.; SANTIAGO, D.B.; FREITAS, W.K.; SANTOS, P.J.; COSTA, M.S. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.282-283, p.107861, 2020.

OLIVEIRA, J.T.; RIBEIRO, I.S.; ROQUE, C.G.; MONTANARI, R.; GAVA, R.; TEODORO, P.E. Contribution of morphological traits for grain yield in common bean. **Bioscience Journal**, v.34, p.951-956, 2018.

SALVADOR, M.A.; JOSE, J.V.; REZENDE, R.; OLIVEIRA, H.V.; GAVA, R. Aplicação de efluente líquido de feccularia em substratos e solos para a produção de mudas de eucalipto. Rama: **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.5, p.175, 2012.

SANTOS, O.F.; LIMA, S.F.; PIATI, G.L.; BARZOTTO, G.R.; GAVA, R. Irrigation as an alternative to reduce damages caused by defoliation of sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v.36, p.341-345, 2018.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, PRODUÇÃO E AGRICULTURA FAMILIAR. Panorama energético de Mato Grosso do Sul, SEMAGRO, 1º Trimestre de 2020.

SILVA, V.T.; GAVA, R.; COTRIM, M.F.; WASSOLOWSKI, C.R.; TEODORO, P.E.; SNYDER, R.L. Manejo de irrigação na cultura da soja em sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de *Brachiaria ruziziensis*. **Research, Society and Development**, v.9, p.64963430, 2020.

TEODORO, L.P.R.; BHERING, L.L.; GOMES, B.E.L.; CAMPOS, C.N.S.; BAILO, F.H.R.; GAVA, R.; DA SILVA JÚNIOR, C.A.; TEODORO, P.E. Understanding the combining ability for physiological traits in soybean. **PLoS One**, v.14, p.e0226523, 2019.

UNITES STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. USDA. Disponível em: <http://www.usdabrazil.org.br/home/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

WATER FOR FOOD DAUGHERTY GLOBAL INSTITUTE. Disponível em: <https://waterforfood.nebraska.edu/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CAPÍTULO 19

19 IRRIGAÇÃO: O PRÓXIMO SALTO DA AGRICULTURA BRASILEIRA

Pedro Abel Vieira Júnior, Antônio Márcio Buainain, Durval Dourado Neto e Roberta Dalla Porta Grundling

Resumo

A expansão da produção agrícola brasileira pode ocorrer por meio da intensificação sustentável, reduzindo os impactos ambientais. A introdução de inovações tecnológicas e organizacionais aumentam a produtividade total dos fatores, e a irrigação é uma dessas soluções. Ela possibilita utilizar por um período maior a terra e reduzir perdas decorrentes de eventos climáticos, diversificação da produção com vistas a aumentar o valor agregado e também intensificação da mão de obra. No entanto, existem questões limitantes ao aumento do emprego de irrigação na agricultura brasileira – atualmente somente 10% da área cultivada (8,2 milhões de hectares) no País são irrigadas, enquanto que nos Estados Unidos esse valor sobe para 32%. Uma dessas limitações diz respeito à disponibilidade de energia, mas também as questões burocráticas e a necessidade de programas específicos para o uso mais difundido da irrigação podem ser destacadas.

19.1 Introdução

Nas quatro últimas décadas a produção agrícola brasileira cresceu mais do que a média mundial e projetou o Brasil no mundo como uma potência agropecuária. Em 2020 o Brasil se colocou como o maior exportador mundial de café, açúcar, suco de laranja e carnes (bovina e de frango), o segundo maior exportador de milho e soja (grãos, farelo e óleo) e tem presença marcante nos mercados globais de carne suína e algodão. Também é importante na bioenergia (etanol e biodiesel) e vem ganhando destaque na produção de óleo de palma, de frutas (uva, mamão e manga) e produtos da biodiversidade, com destaque para o açaí (MOTA; CONTINI, 2019). Entre 1975 e 2017, a produção de grãos, que era de 38 milhões de toneladas, cresceu mais de seis vezes, atingindo 236 milhões, enquanto a área plantada apenas dobrou (PORTAL EMBRAPA; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021). De 1990 a 2015, segundo Vieira Filho (2018), “o efeito poupa-terra ficou em torno de 366 milhões de hectares, quase 43% da área nacional”.

O Brasil tem recursos e competências para continuar expandindo a produção agrícola sem comprometer os recursos naturais, tendo como base a intensificação sustentável da produção viabilizada pela introdução de inovações tecnológicas e organizacionais que elevam a produtividade total dos fatores e simultaneamente reduzem o impacto ambiental. Vários estudos demonstram a possibilidade de dobrar a produção sem necessidade de desmatar e da incorporação de novas terras. Importante destacar que a institucionalidade da preservação ambiental no Brasil, a exemplo do Código Florestal, orienta para que os “pacotes tecnológicos” levem em conta, cada vez mais, as restrições ambientais e a necessidade de promover a sustentabilidade no sentido amplo, de proteção do meio ambiente, relações de trabalho e segurança alimentar.

Em linha com as conclusões do CGEE (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2014), o relatório “Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros” (BUAINAIN *et al.*, 2020) enfatiza que a inovação e o conseqüente crescimento da

produtividade contribuíram com a transformação da agricultura brasileira nas últimas quatro décadas. Também enfatiza que a agricultura brasileira vem realizando diversas ações para reduzir o impacto ambiental, como a adoção de novas tecnologias a exemplo da integração de sistemas diferentes em uma mesma área. Esses sistemas integrados, além da sustentabilidade ambiental, geram economias que promovem transbordamentos regionais, notadamente a geração de emprego, importantes para o desenvolvimento local. Contudo, a irrefutável trajetória virtuosa confirmada pela “poupança de terra” e pela utilização mais sustentável dos recursos naturais em geral, incluindo o solo e a água, pela agropecuária, não eliminou problemas ambientais e nem significa que os sistemas produtivos praticados não tenham que ser consideravelmente aperfeiçoados para reduzir os impactos negativos e potencializar a sustentabilidade. Ademais, a trajetória de crescimento da produção da agricultura nos últimos 30 anos não é garantia de futuro, até porque apresenta sinais de fadiga. Isto significa que, nos próximos anos, será necessário ampliar a eficiência no uso dos recursos naturais, recompor recursos degradados e reduzir o impacto das mudanças climáticas. Ou seja, ainda há muito que fazer para a agricultura brasileira desenvolver um modelo que, além de dinâmico, seja inclusivo e, principalmente, ambientalmente sustentável.

Em relação aos recursos naturais, base da agricultura, a recuperação, a proteção e o uso sustentável dos recursos naturais dos biomas exigem mais que inovação tecnológica. É necessário, de um lado, gerar conhecimento necessário para sustentar o processo de inovação; e, de outro, inovações organizacionais e institucionais para criar incentivos e viabilizar a adoção e implementação de programas, políticas e iniciativas de promover a transição para a agricultura sustentável do futuro. Os custos de produção crescem, entre outras razões, devido às deficiências sistêmicas e às dificuldades tecnológicas e institucionais para lidar, de forma eficaz, com as restrições ambientais. Assim, na dimensão ambiental, as questões críticas resumem-se à tríade recuperação, preservação e utilização sustentável da riqueza ambiental, em especial dos recursos hídricos e da biodiversidade (BUAINAIN *et al.*, 2020).

Na dimensão social, é preciso enfrentar a pobreza rural e as desigualdades. A agricultura tem muito a contribuir neste campo. É preciso promover a integração produtiva de milhões de agricultores familiares às cadeias de valor do agronegócio, apoiando-se, para tanto, nas tecnologias da agricultura digital que abrem novas oportunidades para os pequenos agricultores, e em políticas públicas adequadas. Isso implica em ajustar o modelo de desenvolvimento que tem caracterizado a dinâmica econômica do País e da agricultura; implica também no desenvolvimento de políticas amplas, que considerem a educação, saúde e sistemas de proteção social.

Na dimensão econômica, a principal questão é aumentar a competitividade, diversificando a produção e a agregação de valor no interior das cadeias produtivas, com foco na sustentabilidade socioambiental. Para tanto, é imprescindível garantir a transição para os padrões de uma ‘nova’ agricultura, de forma a atender a demanda crescente por produtos limpos, saudáveis e socialmente éticos (BUAINAIN *et al.*, 2020).

Dos seis biomas brasileiros, a agricultura na Mata Atlântica e no Pampa já extrapolaram os limites dos recursos naturais; no Cerrado e na Caatinga estão muito próximos dos limites e na Amazonia e Pantanal é preciso atenção para não implementar sistemas de produção que venham a comprometer os recursos naturais. Ou seja, nos biomas em que a ocupação agrícola se deu há um muito tempo (Mata Atlântica, Pampa, Cerrado e Caatinga), a agricultura carece do 3º salto, enquanto nos biomas Amazonia e Pantanal, a agricultura em grande medida está calcada no extrativismo e na exploração predatória dos recursos naturais carecendo do segundo salto.

O terceiro salto, no ambiente agrícola propriamente dito, implica em conter o avanço da fronteira agrícola e, portanto, requer tecnologias para intensificar a produção agropecuária,

a exemplo da irrigação, que possibilita maior período de utilização da terra e redução nas perdas decorrente de eventos climáticos, dos sistemas integrados, possibilitam maiores transbordamentos locais, e da diversificação com a utilização de produtos de maior valor agregado e mais intensivos em mão-de-obra. Uma exceção é a Caatinga, onde o uso da água está além do razoável e tem gerado conflitos com o meio urbano.

As possibilidades de gerar desenvolvimento a partir do 'dentro da porteira' são inúmeras, importantes, mas limitadas. Por isso, é preciso considerar as cadeias de valor de forma mais abrangente, avaliar e promover o adensamento das cadeias em território nacional, levando em conta tanto a inserção nos mercados globais como o fortalecimento no mercado nacional e local. Por exemplo, segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2014), a certificação da produção agrícola, o uso de insumos biológicos, a aplicação da tecnologia de informação e o processamento da produção agrícola, entre outras, são necessidades prementes à produção agrícola brasileira. Essas necessidades têm grande potencial de gerar transbordamentos industriais e de serviços, setores decisivos para o Brasil retomar o desenvolvimento.

Não há dúvidas sobre o bom desempenho da agricultura brasileira. Porém, o sucesso do passado não é nenhuma garantia de sucesso futuro, em especial quando a dinâmica depende de inovações e o setor enfrenta demandas crescentes, colocadas pelos mercados, instituições e desafios globais cujo enfrentamento já não pode ser postergado. É preciso ter claro que os desafios vão bem além da questão ambiental, e envolvem as profundas mudanças em curso na sociedade, que estão redefinindo o papel dos alimentos, estilo de vida, expectativas, para mencionar apenas alguns dos âmbitos em transformação.

19.2 Agricultura brasileira e meio ambiente

A natureza física e a dinâmica dos processos associados às mudanças climáticas impõem a transformação do ambiente, de natureza global, em escala jamais pensada. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indica que a humanidade se encontra em trajetória de redução na aptidão e na capacidade de produção agrícola. O grande desafio político nas próximas décadas, imposto pela mudança do clima, será a implementação de novos modelos econômicos que valorizem a sustentabilidade ambiental e promovam o desenvolvimento socioeconômico mais equilibrado e equitativo. O desafio das próximas décadas será produzir alimentos e bioprodutos, gerando emprego, renda e inclusão, com impacto mínimo sobre o meio ambiente (BUAINAIN *et al.*, 2020).

O enfrentamento deste desafio exige ajustes profundos nos modelos econômicos e mudanças de comportamento da população global, levando em conta os riscos inerentes à mudança do clima. Não se trata de uma equação simples internalizar no comportamento e expectativas dos consumidores e produtores uma externalidade que em certa medida é gerencial. Ainda assim, a restrição ambiental tem sido rapidamente absorvida e as preocupações com o futuro têm se transformado em acordos internacionais, leis nacionais e se traduzido em pressões nos mercados que demandam, cada vez mais, produtos com predicados ambientais e sociais mais explícitos. Incluir o elemento da mudança do clima nessa equação implica em acentuada elevação das incertezas e riscos aos quais o setor agrícola e todos seus transbordamentos se tornam expostos (MOZZER; SAMPAIO, 2019).

É inegável que, ao longo dos últimos 50 anos de investimento em pesquisa e inovação, o Brasil se qualificou como detentor de conhecimento na área de agricultura tropical, manejo sustentável do solo e de água. O desempenho e o progresso da agricultura brasileira, em termos produtivos e ambientais, são incontestáveis, ainda que não se traduza em reconhecimento da comunidade internacional. De um lado, a imagem do setor é comprometida

pelo desmatamento no bioma amazônico, em grande medida realizado por infratores ambientais dissociados do agronegócio e por ocorrências pontuais e isoladas, que nada têm a ver com a dinâmica geral do setor e que tendem a ser generalizadas pela imprensa e movimentos ambientais. De outro lado, a imagem transmitida tende a refletir a fotografia, e não o processo. O efeito poupa terra, a elevação da produtividade total dos fatores, a preservação dos solos e a prática de uma agricultura mais sustentável, cuja evidência maior é o plantio de 3 safras ao ano, com rendimentos crescentes que confirmam a vitalidade dos solos, são resultados de um sólido processo e progresso na utilização dos recursos naturais. No entanto, ficam em segundo plano diante de informações sobre o uso intensivo de insumos químicos, ainda que a utilização relativa tenha se reduzido e que os próprios insumos sejam muito menos agressivos do que os usados no passado.

É certo que algumas denúncias sobre desmatamento são verdadeiras, mas as ocorrências estão associadas à conduta criminosa de uma minoria absoluta e não à dinâmica produtiva do setor como um todo. Mais ainda: o crescimento da agricultura do Brasil, baseado em sistemas produtivos cada vez mais sustentáveis, tem contribuído para reduzir a pressão sobre os principais biomas do país, como também vem contribuindo para mitigar os efeitos negativos do desenvolvimento sobre o meio ambiente, em particular sobre as mudanças climáticas (a produtividade agrícola em relação às emissões pode aumentar tanto pela redução das emissões como pelo aumento da produção física).

Embora responsável por grande parte das emissões, 32% do total em 2010, a agropecuária tem grande potencial para aumentar a produção e ainda mitigar problemas climáticos. Por exemplo, parte das críticas decorre da afirmação de que a expansão da agricultura no Brasil se relaciona ao desmatamento, o que não corresponde à realidade, uma vez que os ganhos de produtividade foram responsáveis por mais de 2/3 do aumento da produção nas últimas 3 décadas. Também se menciona que a fermentação entérica do gado bovino (18,4% produzida pelo metano) e a aplicação de adubos e fertilizantes sintéticos (11% com forte emissão de óxido nitroso) foram as principais fontes emissoras na última década que podem ser mitigadas com o manejo adequado das pastagens. É certo, mas é preciso analisar o processo e considerar os ganhos que têm sido registrados com a introdução de inovações tecnológicas, organizacionais, melhores práticas agropecuárias. Áreas ocupadas com pasto pouco produtivo aumentam a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) por quantidade de carne ofertada. Porém, a aplicação de técnicas de recuperação, tais como calagem e adubação, tratamentos físico-mecânicos e integração lavoura-pecuária, aumentam a capacidade de suporte dos pastos e vêm reduzindo significativamente a emissão de GEE por quantidade de carne.

Em estudo inédito sobre a expansão da pecuária no Brasil, Vieira Filho (2018) relacionou o efeito poupa terra e os ganhos de produtividade às emissões de gases efeito estufa e indicou que entre 1990 e 2014 a emissão decorrente da produção da carne bovina caiu pela metade: ou seja, em 1/4 de século praticamente dobrou a produção de carne bovina por unidade de emissão de GEE em decorrência das novas técnicas introduzidas, do aumento de produtividade e da redução da área de pastagem. Alterações semelhantes também foram verificadas nas produções de cana-de-açúcar, grãos, algodão e soja, entre outros, elevando a produção agrícola por unidade de emissão ao longo do tempo. Importante ressaltar que essa tendência deve se acentuar com a difusão de programas "verdes" que vêm sendo implantados na última década e que buscam promover a Agricultura de Baixo Carbono. Estes programas vêm estimulando e viabilizando a introdução de técnicas como o plantio direto e o uso de microrganismos em substituição a produtos químicos, assim como a produção Integrada, que permite intensificar a produção melhorando a qualidade dos recursos naturais, entre outras técnicas. Ainda, o contínuo refinamento do Zoneamento Agroecológico tem permitido melhorar a seleção tecnológica, reduzir os riscos de produção e ambientais e elevar a eficácia das

políticas públicas em geral usadas para estimular a produção com preservação ambiental e sustentabilidade em geral.

Contudo, a despeito destes resultados, a trajetória de melhoramentos não pode parar e precisam ser alimentadas por inovações que respondam aos problemas que vão surgindo, sem se desviar das exigências de sustentabilidade. Nos próximos anos, será necessário ampliar a eficiência no aproveitamento da água, solo e biodiversidade, para garantir a produtividade, recompor os recursos naturais e diminuir o impacto das mudanças climáticas no território nacional. Práticas conservacionistas, integração de diferentes sistemas produtivos e maior interdisciplinaridade nos estudos agronômicos deverão ser a base da agricultura brasileira nos próximos anos. Ou seja, a agricultura brasileira depende de ganhos sustentáveis de produtividade, assunto do tópico a seguir.

19.3 Produtividade na agricultura brasileira

A comparação entre a evolução da produtividade da agricultura e demais setores no Brasil confirma o protagonismo da agricultura. Entre 2013 e 2018 o crescimento médio da produtividade por hora trabalhada da indústria de transformação e da construção civil foi de -0,9 e -2,9, respectivamente; no setor serviços o crescimento foi de -1,5, e o único setor que registrou crescimento foi a agropecuária: 7,1. Entre 1995 a 2018, o crescimento médio da produtividade foi de 6,8 na agropecuária, -0,2 na indústria e 0,3 no setor serviços. O efeito positivo do crescimento da produtividade na agricultura é maior do que sua representação no Produto Interno Bruto, em torno de 5%. Isto se deve aos vínculos com os segmentos da indústria e do setor de serviços, que têm sido obrigados a se modernizar para atender às demandas e exigências oriundas da agropecuária. Considerando os setores cuja produção e dinâmica estão diretamente vinculados à agricultura, que no conjunto é designado como agronegócio, a contribuição passa de 20% do PIB. As exportações agrícolas respondem por mais de 36% das exportações brasileiras e cerca de 20% do emprego (ARIAS *et al.*, 2017).

Não é por caso que, nas última duas décadas, a agropecuária tem proporcionado consistentemente um efeito de "proteção" à economia brasileira. Quando indústria e serviços estão com dificuldades, o crescimento da agropecuária tem contribuído para mitigar os efeitos negativos sobre a sociedade, operando como fator anticíclico. Ou seja, sem atribuir causalidade, tem se observado uma relação muito próxima entre o desempenho econômico geral do Brasil e o desempenho da agricultura, indicando que as crises econômicas no Brasil seriam ainda piores sem o papel mitigador que tem desempenhado o dinamismo da agricultura (ARIAS *et al.*, 2017).

Para compreender contribuição da agricultura para o desenvolvimento recente do Brasil, que transcende o papel tradicional de produtora de alimentos e matérias-primas para o mercado doméstico e internacional. Nos últimos 50 anos, a produção agropecuária brasileira se deslocou fundamentalmente para o bioma Cerrado. Primeiramente, nas décadas de 1970 e 1980, a fronteira expandiu-se na região Centro-Oeste, até então considerada inadequada para a exploração agrícola. Posteriormente, a partir de 1990, ao mesmo tempo que na fronteira do Centro-Oeste consolidavam-se sistemas intensivos de produção agropecuária, liderados pelos grãos, algodão e pecuária, a produção se expandia para os cerrados nordestinos, inicialmente no oeste do Estado da Bahia, seguindo para os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, conformando a área que viria a ser chamada de MATOPIBA (VIEIRA FILHO, 2016). Neste processo, tão ou mais importante que o crescimento da produção, foi a própria ocupação do território, a formação de cidades que apresentam indicadores sociais superiores à média do Brasil, a criação de centenas de milhares de empregos e postos de trabalho, nos meios rural e urbano. Levando-se em conta a localização e a completa ausência de infraestrutura de

logística, dificilmente se pode imaginar que estas áreas pudessem vir a ser ocupadas e povoadas com base em atividades industriais e em enclaves mineradores.

A expansão da agricultura brasileira baseou-se em ganhos impressionantes de produtividade. Entre 1975 a 1997 a Produtividade Total dos Fatores (terra, capital e mão-de-obra) cresceu 3,02 % a.a., e entre 1997 a 2015 a PTF foi de 4,28 % a.a., mais do que o dobro da verificada nos EUA, país que ocupa a liderança do agronegócio global (GASQUES *et al.*, 2016). Este aumento da produtividade economizou recursos naturais - o efeito poupa terra - e tem contribuído para mitigação ambiental. Os resultados positivos não podem mascarar que embora a produtividade total dos fatores tenha crescido, o ritmo de crescimento da produtividade de cada fator tem sido desigual, e que a produtividade da terra, que praticamente não variou entre 1975 a 2005, apresenta sinais de redução após o ano de 2006 (Figura 1).

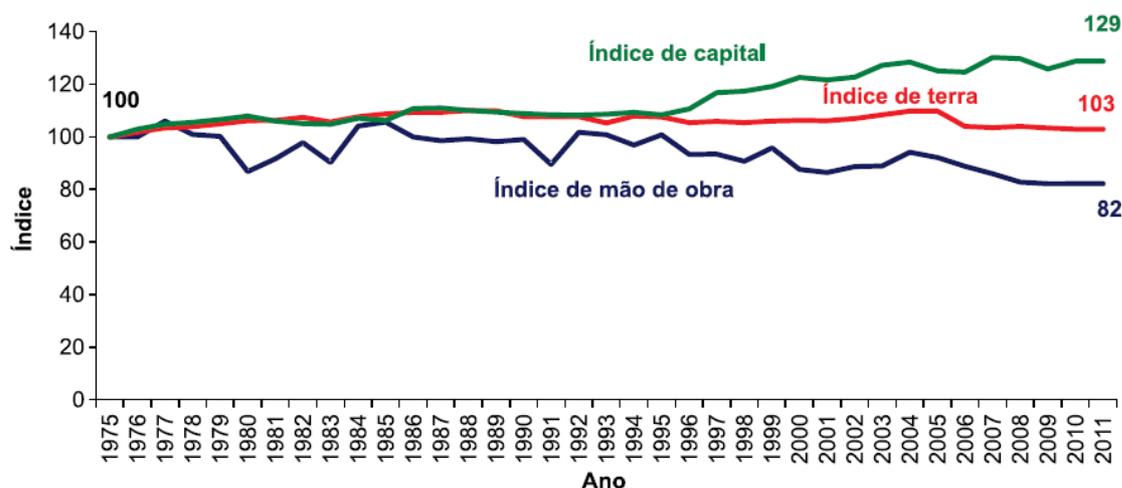


Figura 1. Índices de produtividade da terra, do capital e da mão-de-obra na agricultura brasileira entre 1975 a 2015 (GASQUES *et al.*, 2016).

A continuidade da expansão da agricultura brasileira assenta-se em alguns eixos. Um deles é a disponibilidade de uma fronteira interna de 60 milhões de hectares, áreas de pastagens degradadas e sem utilização produtiva que poderiam ser incorporadas à produção e que são suficientes para sustentar o crescimento sem necessidade de desmatar novas áreas. No entanto, esta possibilidade depende, fundamentalmente, da capacidade de inovação e da dotação de infraestrutura. O Brasil conta com instituições que têm capacidade para gerar inovações, mas ter capacidade de P&D não significa poder contar com as inovações que serão necessárias para incorporar, sustentavelmente, essa fronteira interna à produção agropecuária. E em relação à infraestrutura, sabe-se que o Estado brasileiro não tem os recursos necessários para bancar os investimentos, que dependem do setor privado. O obstáculo, no caso, não é a tradicional falta de recurso. O mundo convive com abundância de capital. O problema, aqui, é institucional, refere-se ao desenho de marcos regulatórios adequados, à estabilidade das regras, à governança dos setores de logística, que em 2020 ainda são marcados por uma complexa e irracional teia regulatória e de interesses particulares que afugentam os investidores privados.

Um outro eixo é dar continuidade aos sucessos do passado. O modelo de agricultura tropical desenvolvido no Brasil está baseado na inovação, que privilegia o uso de insumos e de máquinas e equipamentos modernos, o que explica o crescimento da produtividade do capital. Esta tecnologia não tem logrado elevar, da mesma maneira, a produtividade da terra, que é a base do sistema. Esta constatação revela o possível esgotamento do efeito-poupa terra, e a necessidade de uma nova trajetória tecnológica para a agricultura tropical do Brasil que privilegia a produtividade da terra. Esta nova trajetória já pode ser visualizada na região

dos Cerrados, que representa cerca de 35% da área plantada com lavouras temporárias no Brasil. Com a introdução da segunda safra de milho a produtividade da terra na região Centro-Oeste mudou significativamente, uma vez que, além dos 2.963 quilogramas de soja produzidos em cada hectare durante o ano de 2016, somaram-se mais 1.670 quilogramas de milho colhidos na segunda safra de milho (Tabela 1). A contribuição da segunda safra de milho para a produtividade da região Centro-Oeste não é desprezível, em especial ao se considerar que, dos 64 milhões de toneladas de milho produzidos pelo Brasil em 2016, cerca de 40 milhões foram produzidos na segunda safra, sendo que o Centro-Oeste respondeu mais de 60% do milho produzido na segunda safra.

Tabela 1. Área semeada (AS, ha), produção (PD, kg) e produtividade agrícola (PA, kg ha⁻¹) de soja, milho (1^a. e 2^a. safra) no Brasil e na região Centro-Oeste nos anos de 2015 e 2016 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021).

Cultura	AS		PD		PA	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Soja	14.666.590	14.989.590	43.943.604	44.140.654	3.000	2.963
Milho (1 ^o safra)	363.822	324.387	2.447.076	2.432.227	6.863	7.524
Milho (2 ^o safra)	6.362.780	6.906.922	38.674.719	25.034.630	6.078	3.852

Uma pista sobre o 'novo' paradigma tecnológico dedicado a aumentar a produtividade da terra vem da comparação entre os rendimentos obtidos na região Centro-Oeste nas segundas safras de milho nos anos de 2015 e 2016. O rendimento da safra 2016 equivaleu a apenas 63% daquele obtido em 2015 devido à forte estiagem (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021). Ainda, segundo Banco Mundial (2015), o Brasil perde anualmente mais de 1% do Produto Interno Bruto da agricultura devido a eventos climáticos extremos, notadamente o *deficit* hídrico que representa mais de 80% desses eventos, que poderiam ser mitigados com o uso da irrigação.

Outra pista vem da comparação do Valor Adicionado Bruto da Agricultura (VABA) e do Produto Interno Bruto (PIB) nos municípios de Cristalina e Padre Bernardo, ambos no estado de Goiás, separados por uma distância de menos de 200 quilômetros. Enquanto o VABA de Cristalina no ano de 2018 foi de kR\$ 155 por quilômetro quadrado do município, em Padre Bernardo foi de kR\$ 47. Já o PIB *per capita* de Cristalina (R\$ 38,66 mil por habitante) foi 2,62 vezes o de Padre Bernardo (kR\$ 14,71 por habitante) no mesmo ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021). São diversas as explicações para essas diferenças entre os municípios, inclusive a diversificação da produção agrícola. Além da diversificação, Padre Bernardo conta com cinco produtos e Cristalina com 11, 79% do valor da produção agrícola de Padre Bernardo veio da soja. Já em Cristalina cerca de 45% do valor da produção agrícola veio de alho, batata, cebola e tomate, produtos de maior valor, mais intensivos em capital e mão-de-obra e mais dependentes de beneficiamento local quando comparados com soja. Importante notar que esses produtos com maior capacidade de promover o dinamismo socioeconômico local são dependentes de irrigação.

Nesta linha, um dos eixos é explorar melhor, e mais, a irrigação, que oferece várias vantagens. Além de mitigar o risco de produção, possibilita ocupar a terra por um período maior e viabiliza a diversificação da produção com espécies de maior valor para a promoção do dinamismo socioeconômico local. Importante notar que as produções irrigadas, além de dinamizar a economia local, implica na instalação de indústrias e serviços altamente especializados e intensivos em tecnologia, o que contribuiu para o desenvolvimento do país.

19.4 Irrigação: uma nova fronteira de expansão da agricultura brasileira?

Apesar de a área irrigada no Brasil ter crescido mais de 5% ao ano na última década, os números também revelam onde estamos quando comparados aos EUA. Enquanto o Brasil conta com pouco 8,2 milhões de hectares irrigados, o correspondente a cerca de 10% da área cultivada (agricultura), nos EUA a área irrigada é de cerca de 23 milhões de hectares, correspondendo a 32% da cultivada com grãos ou 5,5% da área agrícola total. A questão que se coloca é: por que a área irrigada é tão baixa e quais os entraves para o crescimento da área irrigada no Brasil?

Tabela 2. Participação (%) das produções agrícolas (A₁: Algodão. A₂: Alho. B₁: Batata-inglesa. C₁: Cebola. F₁: Feijão. G₁: Girassol. M₁: Milho. S₁: Soja. S₂: Sorgo. T₁: Tomate. T₂: Trigo) no valor da produção agrícola em Cristalina e Padre Bernardo, municípios de Goiás, no ano de 2018 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021).

Município	A ₁	A ₂	B ₁	C ₁	F ₁	G ₁	M ₁	S ₁	S ₂	T ₁	T ₂
Cristalina	3,6	14,5	10,4	16,6	5,4	0,1	11,2	32,7	0,5	4,1	0,9
Padre Bernardo	-	-	-	-	4,3	-	14,9	79,0	1,6	-	0,2

Tabela 3. Área irrigada no ano de 2013 e área potencial (AP) para irrigação no Brasil (Região [R]: Norte [1], Nordeste [2], Sudeste [3], Sul [4] e Centro-Oeste [5]) segundo três classes de aptidão do solo e relevo (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ", 2014).

R	Aptidão do solo e relevo						Total			
	Alta		Média		Baixa		2013		AP	
	2013	AP	2013	AP	2013	AP	ha	%	ha	%
1	27.815	2.059.173	75.073	3.818.623	102.767	5.148.649	205.655	3,4	11.026.445	18,0
2	502.615	1.743.102	517.922	3.176.922	472.364	3.181.048	1.492.901	24,7	8.101.073	13,2
3	861.943	3.425.917	675.081	3.794.523	660.804	6.887.616	2.197.828	36,4	14.108.056	23,0
4	434.633	2.281.044	308.812	2.303.516	536.447	4.126.770	1.279.892	21,2	8.711.330	14,2
5	503.391	8.917.466	227.989	6.555.926	132.182	3.937.393	863.562	14,3	19.410.784	31,6
ha	2.330.397	18.426.702	1.804.877	19.649.510	1.904.564	23.281.476	6.039.838		61.357.688	
%	38,6	30,0	29,9	32,0	31,5	37,9		100		100

A resposta envolve vários fatores, isolados ou em combinação. Em alguns casos é preciso questionar a própria necessidade da irrigação; a disponibilidade de área adicional irrigável, ou o custo para criar áreas irrigáveis, é outro fator. A área irrigada existente - parcialmente subutilizada-, a aptidão agrícola e a disponibilidade de água são variáveis relevantes quando se considera a irrigação. Considerando esses fatores, a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) estimou um potencial para aumentar cerca de 10 vezes a área irrigada no Brasil, chegando a casa de 60 milhões de hectares (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ", 2014). Sem qualquer comprometimento ambiental, é importante destacar. Mesmo considerando apenas as áreas com melhor aptidão de solo e relevo, o potencial de irrigação no Brasil ultrapassa 18 milhões de hectares, um número próximo ao dos EUA (Tabela 3).

Associando variáveis socioeconômicas e do interesse ambiental, as áreas de expansão da irrigação foram classificadas pela Esalq em: (i) máximo interesse de intervenção pública, (ii) interesse elevado de intervenção pública, (iii) interesse compartilhado de intervenção pública, (iv) fomento de interesse privado, (v) monitoramento e regulamentação, (vi) intervenção pública específica e monitoramento e (vii) monitoramento (Figura 2). Nas áreas classificadas como (v) e (vi), localizadas principalmente no sertão e agreste nordestino, sul do

Rio Grande do Sul e entornos de regiões metropolitanas, a área total irrigável já está próxima de sua capacidade máxima, portanto, a expansão impõe riscos ambientais elevados e/ou uso concorrente da água (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ", 2014). Considerando que há irrigação em grande quantidade nessas bacias, intervenções de expansão específicas e de pequena área que não elevem os custos ambientais podem ser apoiadas por iniciativas públicas ou privadas, porém, o investimento em infraestrutura de preservação de água e estratégias de manejo da irrigação é de suma importância.

Nas áreas classificadas como 1, 2 e 3, distribuídas especialmente no leste de Tocantins e Maranhão, Piauí, norte e leste de Minas Gerais, região central do Paraná e parte do centro do Rio Grande do Sul, e em menor ocorrência na Região Norte e na parte central da Região Centro-Oeste, apesar da boa condição do meio físico não houve desenvolvimento expressivo do ambiente rural. Nestas áreas se justifica uma intervenção pública para promover o desenvolvimento e corrigir a ineficácia do atual modelo produtivo. A agricultura irrigada é opção de longo prazo para a bacia, tanto para a área irrigada como não irrigada.

Na área classificada como 7, localizadas principalmente na região Norte, Pantanal e região central de Goiás, o desenvolvimento da agricultura irrigada não é viável do ponto de vista de infraestrutura instalada e há condições de meio físico muito limitantes em alguns casos. As estratégias de desenvolvimento para a bacia não devem considerar esta opção.

Nas áreas classificadas como 4, predominantemente na parte central da região Centro-Oeste, São Paulo, oeste baiano, norte do Paraná e Rio Grande do Sul, apesar da boa condição do meio físico, não houve desenvolvimento expressivo da irrigação. Considerando que nessas regiões o desenvolvimento da agricultura é bom, a prioridade é expandir e promover a agricultura irrigada com participação prioritária da intervenção privada.

Integrando as variáveis socioeconômicas, ambientais e agronomias, foi possível identificar as áreas prioritárias (baixa, média e alta) para expansão da agricultura irrigada no Brasil, as áreas com potencial para serem Mantidas e Recuperadas (M&R) e as áreas de Reserva Técnica (Figura 3). Importante ressaltar que o maior potencial de irrigação está no Centro-Oeste, região onde a segunda safra de milho tem crescido, a despeito da elevada incerteza climática para esse cultivo (Tabela 1).

Apesar de o potencial indicado ser elevado, o trabalho da Esalq sugere a presença de importantes limitações para o crescimento da agricultura irrigada no Brasil. Permanece, assim, a questão: quais os entraves para a área irrigada no Brasil crescer? Assunção (2017) sugere que o crescimento da área irrigada no Brasil pode ser limitado pela disponibilidade de energia. Basta ao leitor observar a sua fatura de energia elétrica e/ou consultar a mídia para assegurar-se de que o *deficit* energético no Brasil é uma realidade que só não se manifesta com mais vigor devido à crise econômica instalada no país. No caso da irrigação, além da oferta, há a questão da distribuição de energia, o que possibilitou calcular o Índice de Qualidade Energética (o cálculo da variável qualitativa de infraestrutura elétrica está baseado no valor mínimo da distância de um determinado ponto até o segmento de distribuição de energia elétrica trifásico mais próximo) para o Brasil (Figura 4). Esse Índice indica que a irrigação na região dos Cerrados, em sua maioria, demanda redes com extensões maiores que 30 quilômetros (ASSUNÇÃO, 2017), um grande problema ao considerar que um quilômetro de rede elétrica no Brasil custa cerca de US\$ 30.000,00, cerca de 60% mais do que nos EUA. Porém, a solução para essa questão já está em curso com o uso das energias renováveis e distribuídas, a exemplo do solar.

Recursos naturais e energia, apesar de problemas temporários e/ou pontuais, não são limitantes absolutos ao crescimento da irrigação no Brasil, assim, permanece a questão: quais os entraves para a área irrigada no Brasil crescer?

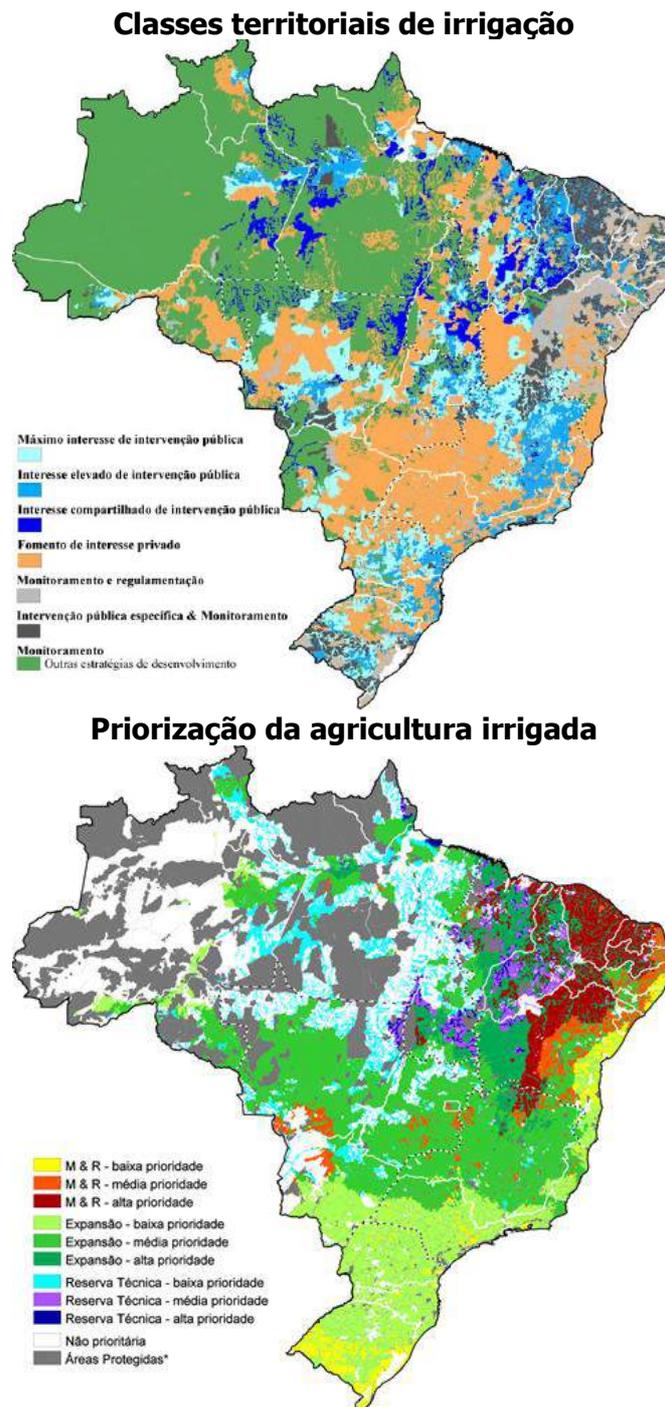


Figura 2. Classes territoriais de agricultura irrigada no Brasil e priorização da expansão (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ", 2014).

A resposta não é simples, mas aquele agricultor quem já solicitou autorização aos órgãos públicos responsáveis pela gestão dos recursos naturais no Brasil pode fornecer uma pista importante. A burocracia e a estrutura precária de instituições responsáveis fazem com que, em muitas Unidades da Federação, uma autorização para captação de água para irrigação não seja emitida em prazo inferior a um ano. A burocracia (associada ao monitoramento) se justifica pelo risco que o uso indiscriminado dos recursos naturais representa ao país, mas a necessidade de monitoramento não justifica o excesso, morosidade e muito menos a ineficácia da burocracia. Diante de tanta burocracia, como explicar que o Distrito Federal, uma Unidade da Federação com um dos melhores sistemas de gestão dos recursos hídricos do país, sofra uma crise hídrica sem precedentes (CARVALHO, 2018).

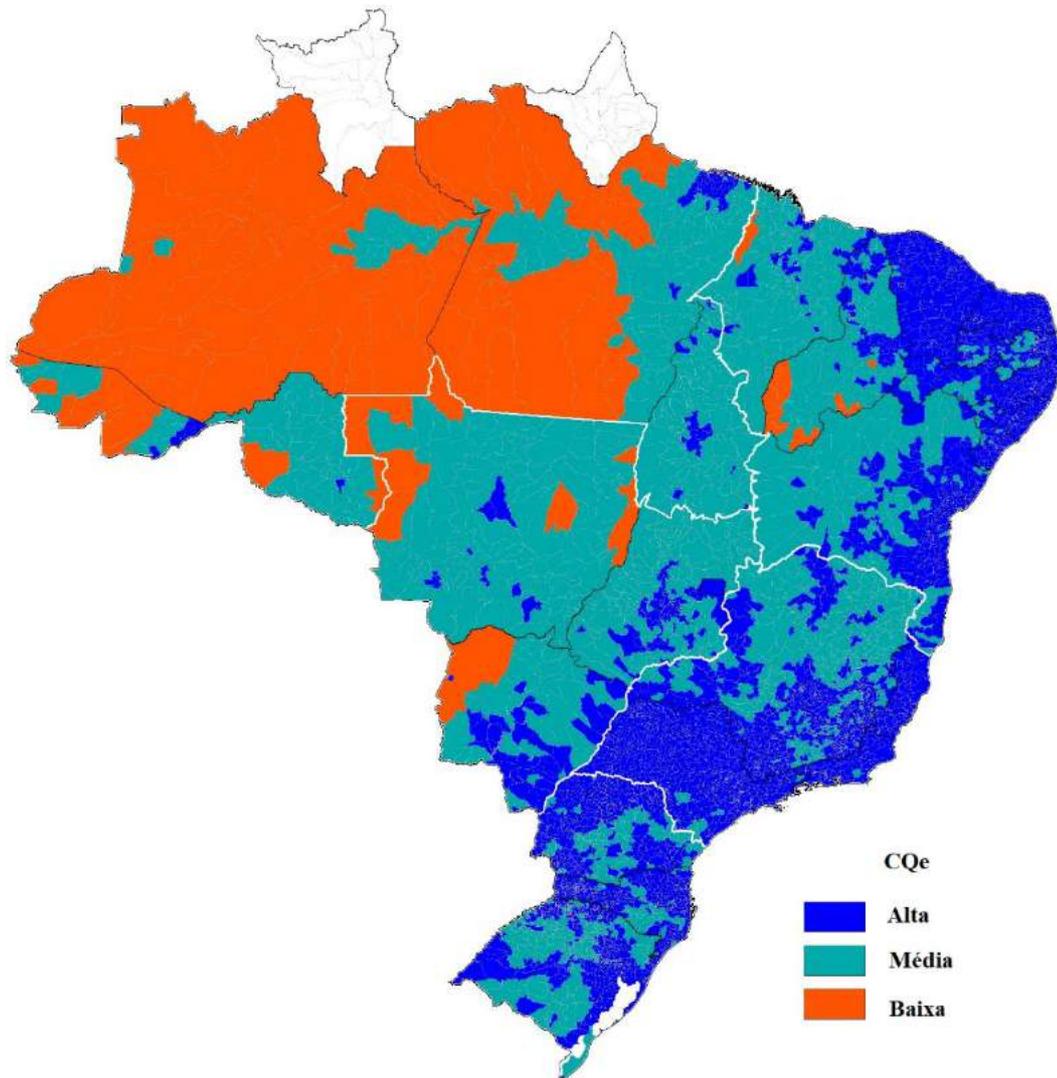


Figura 3. Classes (baixa, média e alta) de qualidade energética (CQE) por município brasileiro no ano de 2016 (ASSUNÇÃO, 2017).

O caso do Distrito Federal deixa claro que a burocracia atrapalha, mas não impede nem a boa nem a má utilização dos recursos naturais, o que deixa ainda em aberta a pergunta sobre os entraves para o crescimento da área irrigada no Brasil. Como se vê, a resposta não é trivial, e provavelmente reúne parte de cada um dos fatores aqui alinhavados. Os estudos da Esalq apontam na direção correta e fornecem subsídios para que a tomada de decisão para que o uso de água ocorra em bases técnicas e empíricas, deixando de lado o subjetivismo. Obviamente que os estudos sobre o uso e gestão da água *per se*, que devem ser realizados com recortes espaciais adequados à cada realidade regional, não promoverão o aumento da área irrigada no Brasil, mas, sem eles, é impossível estabelecer qualquer política para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Ou seja, apesar de o uso da Irrigação remontar o Antigo Egito, esse é o 'novo' paradigma da produção agrícola brasileira e, como tudo que é novo, carece de cuidados especiais, os quais, apesar de programas como o Programa de Incentivo à Irrigação e à Armazenagem e o Programa de Financiamento à Agropecuária Irrigada, ainda não recebe a devida atenção das políticas públicas por falta de conhecimento empírico. Na era da big data, da internet das coisas e do sensoriamento remoto, entre outras tecnologias, é viável ao Brasil dispor de um sistema eficiente e em tempo real sobre a oferta e a demanda de água de cada Ottobacia.

19.5 Considerações finais

Apesar dos avanços, ainda há um longo caminho a percorrer para alcançar um modelo de agricultura dinâmico, inclusivo e ambientalmente sustentável. Assim, é preciso considerar as interdependências entre as dimensões de sustentabilidade em um planejamento de longo prazo para o desenvolvimento do espaço rural no Brasil. Nesse sentido, a irrigação é o 'novo paradigma tecnológico' a ser perseguido pelo país para que possa garantir o próximo salto de produtividade agrícola.

Referências

- ARIAS, D.; VIEIRA, P.A.; CONTINI, E.; FARINELLI, B.; MORRIS, M. Brazil Productivity Growth Flagship Report, World Bank. **Agriculture productivity in Brazil: recent trends and future prospects.** Brasília, 55p. 2017.
- ASSUNÇÃO, A.L.C. **Avaliação da disponibilidade de energia elétrica para expansão da área irrigada no Brasil.** 83p. 2017. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- BANCO MUNDIAL. **Revisão Rápida e Integrada da Gestão de Riscos Agropecuários no Brasil: Caminhos para uma visão integrada.** Brasília, 76p., 2015.
- BUAINAIN, A.M.; FAVARETO, A.; CONTINI, E.; CHAVES, F.T.; HENZ, G.P.; GARCIA, J.G.; DAMIANI, O.; VIEIRA, P.A.; GRUNDLING, R.D.; NOGUEIRA, V.G.C. **Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros,** Embrapa. Brasília, DF, 69 p., 2020.
- CARVALHO, L. Um ano de racionamento: confira os números da crise hídrica no DF. Portal G1. 15/01/2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/um-ano-de-acionamento-confira-os-numeros-da-crise-hidrica-no-df.ghtml>. Acesso em: 21 jan. 2021.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil: o papel do país no cenário global.** Brasília, v.1., 148p., CGEE, 2014.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ". **1ª aproximação do planejamento e expansão da agricultura irrigada no Brasil: análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada.** Projeto de Cooperação Técnica IICA/BRA/08/002: Agricultura Irrigada Sob Cenários Sustentáveis, Esalq, 2014.
- GASQUES, J.G.; BACCHI, M. R. P.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E. T.; VALDES, C. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J.E.R.; GASQUES, J.G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade.** Brasília, IPEA, p.143-164, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipp/brasil>. Acesso em: 21 jan. 2021.
- MOTA, M.M.; CONTINI, E. Comércio internacional de produtos do agronegócio. In: VIEIRA, P.A.; CONTINI, E.; HENZ, G.P.; NOGUEIRA, V.G.C. (Ed.). **Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade.** Brasília, Embrapa, p.99-134, 2019.
- MOZZER, G.B.; SAMPAIO, M.J.A.M. Visão sobre a geopolítica da mudança do clima no setor agrícola. In: VIEIRA, P.A.; CONTINI, E.; HENZ, G.P.; NOGUEIRA, V.G.C. (Ed.). **Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade.** Brasília, Embrapa, p.55-70, 2019.
- VELOSO, F.; SILVIA MATOS, P.P. **Baixo crescimento da produtividade do trabalho no Brasil: uma análise dos resultados setoriais desde meados da década de 90,** Observatório da Produtividade, FGV. Disponível em: https://ibre.fgv.br/observatorio-produtividade?utm_source=portalfgv&utm_medium=fgvnoticias&utm_campaign=fgvnoticias. Acesso em: 5 mar. 2021.
- VIEIRA FILHO, J.E.R. Efeito poupa-terra e ganhos de produção no setor agropecuário brasileiro. Brasília, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 41p., 2018.

CAPÍTULO 20

20 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IRRIGAÇÃO

Flávio Gonçalves Oliveira e João Batista Ribeiro da Silva Reis

Resumo

Embora a irrigação possa trazer muitos benefícios aos agricultores, os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando-se sempre que o incremento nos rendimentos sejam maiores que os custos de produção. Existem vários métodos relacionados a viabilidade econômica para auxiliar na tomada de decisão, como exemplos, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback. Para permitir melhor entendimento desses conceitos, neste capítulo é apresentado um exemplo que possa esclarecer a utilização com maior eficiência de índices econômicos para uma tomada de decisão mais assertiva no tocante à aquisição de um sistema de irrigação. O estudo demonstrado está relacionado ao dimensionamento de um projeto de irrigação por microaspersão que foi realizado para a cultura da bananeira, considerando as condições edafoclimáticas do município de Janaúba, Minas Gerais. Análises econômicas foram realizadas para cinco projetos em função da jornada diária de irrigação, subtraindo-se horário de pico devido a cobrança de um valor taxativo mais elevado pelo uso da energia e considerou-se o uso da irrigação no período noturno em que se tem um desconto no valor da tarifa de consumo da energia. O sistema dimensionado para uma jornada de 9 horas diárias apresentou maior viabilidade econômica em todos os índices analisados, ou seja, com a utilização do Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e PayBack.

20.1 Introdução

A irrigação é uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos agrícolas, tornando importante o estudo econômico dos componentes envolvidos no sistema (SILVA *et al.*, 2007).

A propriedade agrícola deve ser tratada como empresa, cabendo ao produtor rural realizar um estudo de viabilidade econômica para a cultura a ser implantada, levando em conta o histórico climatológico, logística e o estudo de mercado (FRIZZONE, 1999). Na análise de viabilidade econômica o produtor terá como estimar os custos, as receitas e os benefícios da implantação da irrigação, e assim, saberá se é viável ou não fazer o investimento no sistema de irrigação, qual sistema é mais viável a ser implantado, qual o tipo de bombeamento, qual a jornada de trabalho do sistema de irrigação e em qual época do ano é mais viável plantar e colher.

Os sistemas de irrigação são projetados para terem uma vida útil de muitos anos, assim sendo, não podemos desprezar a importância dos custos operacionais com energia, que estão diretamente relacionados ao tempo de irrigação diário, às demandas hídricas e ao seu manejo.

O modelo determinado por Marques *et al.* (1999), através de equações, calcula os custos fixos (CF), custos variáveis (CVA), custos totais anuais (CT), receitas, benefício líquido (BL) e o benefício/custo (B/C). Por meio desses parâmetros é possível avaliar a viabilidade do investimento. Este modelo apresenta resultados de fácil entendimento ao produtor rural (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Embora a irrigação possa trazer muitos benefícios aos agricultores, os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando-

se sempre que o incremento nos rendimentos sejam maiores que os custos de produção. Segundo Silva *et al.* (2003), o custo da irrigação pode ser previsto por meio de uma avaliação econômica, na qual se estimam todos os dispêndios e retornos anuais esperados no projeto agrícola. O resultado dessa avaliação econômica indicará se é interessante ou não a implantação de um sistema de irrigação.

Para que exista sucesso em um investimento, tem-se a necessidade de atentar aos custos e benefícios que serão obtidos, assim como aos recursos necessários para implantação do determinado projeto (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

20.2 Análise de viabilidade econômica

A viabilidade econômica considera a rentabilidade de um determinado investimento através da projeção do dinheiro no tempo, considerando os custos e benefícios trazidos por esse investimento. Já a viabilidade financeira avalia a disponibilidade de recursos para realização de um investimento, considerando os valores de investimento, os custos, rendimentos e receitas, entre outros (HARTZER *et al.*, 2013).

Na agricultura irrigada, uma produção eficiente e rentável deve constituir o principal objetivo econômico, buscando sempre receitas maiores que os custos ou, no mínimo, que as receitas e despesas sejam iguais. Desta maneira, é importante conhecer o grau de risco envolvido na aquisição de novas tecnologias. Estes riscos são decorrentes de incertezas econômicas proporcionadas pela variação do preço de venda do produto, taxa de juros, custos da água, vida útil do sistema de irrigação e taxa de manutenção ocorrida com o manejo do sistema de irrigação, bem como variação na produtividade ao longo dos anos (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Ao se fazer a análise econômica da atividade produtiva, podem-se encontrar diversas condições, dependendo da posição do preço (ou receita média), em relação aos custos e cada qual sugerindo uma particular interpretação (VILAS BOAS *et al.*, 2011).

Atualmente, a análise da viabilidade de equipamentos não consiste apenas de caracterização técnica, devendo-se ter, necessariamente, uma avaliação econômica que considere as peculiaridades de cada caso, confrontando benefícios e custos, preferencialmente em âmbito anual (COELHO, 1979; FRIZZONE *et al.*, 1994).

Entre os componentes que formam o custo variável destacam-se energia elétrica e mão-de-obra para o manuseio do equipamento. Estes custos estão associados com a área a ser irrigada, com o número de horas de irrigação por dia, e com a potência instalada por hectare, preço da compra do equipamento de irrigação, incluindo todos os seus componentes (bomba, tubo gotejador, válvulas, motor etc.) e vida útil dos componentes do sistema de irrigação. A quantidade de energia necessária para transportar a água do local de captação à área a ser irrigada é muito variável, o consumo total depende: da energia para fornecer a quantidade de água demandada na área irrigada; da quantidade de água a ser aplicada; da energia hidráulica exigida pelo sistema de irrigação; e da eficiência total do sistema de bombeamento (SCALOPPI, 1985). A irrigação pode ajudar muito os agricultores, porém os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando sempre, que os rendimentos sejam maiores que os custos.

A jornada de irrigação comumente é escolhida de maneira arbitrária, e exclusivamente por questões de jornada de trabalho comum para a operação, ou taxa reduzida em horário noturno. É comum não se analisar o valor de potência mais eficiente, que relacione gasto energético com custo de implantação do sistema, em suas condições locais.

Estudos envolvendo o consumo e despesas com energia e água para a irrigação são importantes, pois o custo com energia, na maioria das vezes, constitui-se como o principal

item do custo variável, podendo chegar até 70% dependendo do método utilizado (MELO, 1993; FRIZZONE *et al.*, 1994).

Existem diversos métodos utilizados para avaliar a viabilidade econômico-financeira de um investimento e a avaliação significa reunir argumentos e informações para construir os fluxos de caixa esperados em cada um do período desse investimento e aplicar técnicas que possam evidenciar se as futuras entradas de caixa compensam a aplicação do investimento (SOUSA, 2007).

Para a realização de um projeto é necessário, obviamente, estabelecer uma tomada de decisão que tenha critérios técnicos. O método mais eficiente e bastante útil é simular o investimento a partir de algum modelo, no entanto poderá ser gerado fluxos de caixa com o investimento feito. Existem vários métodos para auxiliar na tomada de decisão, como exemplos, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback.

O Valor Presente Líquido resulta em um excedente ou em perda de riqueza no final do período comparado ao valor investido no projeto considerando todos os fluxos de caixa. Para gerar excedente, seu valor precisa ser maior que zero e se caso ocorra o contrário, implica-se na geração de um prejuízo com aquele custo de capital.

Para Casarotto Filho e Kopittke (2008), o VPL é descrito, algebricamente, como o somatório dos fluxos de caixa descontados do projeto em análise. Como temos que considerar o valor do dinheiro no tempo, não se pode somar diretamente os fluxos de caixa envolvidos sem antes ajustá-los a uma taxa de desconto. Escolhe-se a opção que apresenta melhor valor presente líquido. A taxa utilizada para desconto do fluxo (trazer para o valor presente) é a taxa mínima de retorno.

Conforme Hirschfeld (1989), o método do valor presente líquido, tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios.

A Taxa Interna de Retorno é a taxa de juros recebida para um investimento que consiste em pagamentos (valores negativos) e receitas (valores positivos) que ocorrem em períodos regulares. Nos valores do fluxo de caixa para o cálculo, deve conter pelo menos um valor positivo e um negativo para calcular a Taxa Interna de Retorno, assim obtivemos no ano zero um valor negativo (já que é um desembolso) e os demais positivos. A TIR está intimamente relacionada com VPL, e seu valor será obtido quando o Valor Presente Líquido for igual a zero. Assim, quando o custo de capital for menor que a TIR o projeto é aceito (VPL maior que zero).

Conforme Newnan e Lavelle (2000), a taxa interna de retorno é definida como a taxa de juros pago sobre o saldo devedor de um empréstimo, de tal forma que o esquema de pagamento reduza a zero esse saldo quando se faz o pagamento.

Ainda para os autores, a taxa interna de retorno como a taxa de juros ganho sobre o investimento não recuperado, de tal forma que o esquema de pagamento reduza a zero o investimento não recuperado no final da vida do investimento.

A NBR 14653-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002), refere-se a TIR, como sendo a taxa de juros que anula o fluxo de caixa descontado de um investimento.

O método de Payback considera o tempo de retorno do capital. Indica o prazo máximo para a recuperação do investimento, podendo assim analisar a viabilidade do projeto. O valor investido é somado, período a período aos fluxos de caixa líquidos gerados, para obter o tempo de recuperação do investimento inicial. Ocorre quando a soma dos fluxos de caixa futuros se iguala ao investimento aplicado inicialmente (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010).

Considerado por Casarotto Filho e Kopittke (2008), o principal método não exato, mede o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial. Genericamente pode-se dizer que registra o tempo médio para os fluxos de caixa se equipararem ao valor do investimento.

A NBR 14653-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002), define o Payback como sendo o período no qual os resultados líquidos acumulados da operação do empreendimento equivalem aos investimentos.

20.3 Irrigação localizada

A agricultura irrigada é de fundamental importância, pois através dela há uma maior oferta de empregos, desenvolvimento de regiões incluindo-a em possível estado de competitividade. Constitui fonte de oferta permanente (todos os meses do ano) de matérias primas para a indústria alimentar e de produtos energéticos (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

Em relação ao sistema de microaspersão, que é amplamente utilizado e difundido no semiárido norte mineiro e baiano, é um sistema de irrigação localizada. Irrigação localizada é um método de irrigação em que a água é aplicada na área ocupada pelas raízes das plantas, em intensidades que variam de 1 a 160 litros por hora, porém com alta frequência (turno de rega de um a quatro dias), com o objetivo de manter a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo (BERNARDO *et al.*, 2019)

Existem trabalhos com sistemas de irrigação localizada, como é o exemplo do realizado no Distrito de Ceraíma, em Guanambi, Bahia, em que, na cultura da mangueira, verificou-se a Taxa Interna de Retorno de 30% e 40% ao ano, o Valor Presente Líquido positivo de R\$165.984,19 e R\$257.427,08, e PayBack de 6 e 5 anos, para o plantio tradicional sob microaspersão e superadensado sob gotejamento, respectivamente. Esses valores demonstram que os sistemas de produção irrigada são viáveis economicamente, entretanto, o sistema de plantio superadensado irrigado por gotejamento tem melhores índices e por isso melhor viabilidade (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Ainda neste trabalho, verificou-se que é viável o uso dos sistemas de irrigação na produção de manga 'Palmer', entretanto, no plantio tradicional sob microaspersão, o produtor terá retorno financeiro após o sexto ano de cultivo desde que consiga fazer a indução floral para colheita no mês de maio. Por outro lado, no plantio superadensado sob gotejamento, no quinto ano o produtor consegue o retorno financeiro mesmo com colheita da produção nos meses de novembro a janeiro, onde os preços são menores.

Em estudo realizado no Cerrado goiano, os valores encontrados da TIR com dez anos de investimento foram muito superiores aos 15% utilizados como taxa de juros do empreendimento, mostrando a grande viabilidade da produção das cultivares de banana que foram avaliadas, com ou sem irrigação. Em relação ao Payback obtido, foi verificado que, com a utilização da irrigação por microaspersão, todas as cultivares apresentaram um período de retorno de dois anos, enquanto, sem a utilização de irrigação as cultivares BRS Japira e BRS Platina apresentaram período de retorno de 3 anos. Isto demonstra que, mesmo com o maior investimento inicial, a utilização da irrigação, propiciou com maior rapidez, um retorno do capital inicial investido. O Valor Presente Líquido (VPL) observado nesta avaliação econômica, em dez anos de projeto, na cultivar SH3640 Graúda apresentou o maior valor (105.912,90 R\$ ha⁻¹ano⁻¹). A maior lucratividade desta cultivar, pode estar associada a boa produção no manejo com irrigação (28,791 kg ha⁻¹), visto que, o sucesso da irrigação depende da resposta do cultivar ao acréscimo do regime hídrico (COUTO *et al.*, 2020).

Em sistemas irrigados, caso haja maior investimento em outros insumos (principalmente nutrientes), a produtividade tende a aumentar (FURLANETO *et al.*, 2007). Mas

o uso de irrigação isolado pode gerar maior suporte hídrico para as plantas, mas deixa escasso o aporte nutricional. Dessa forma, a utilização isolada da irrigação aumentaria os custos exponencialmente e a produção não acompanharia esse acréscimo. Portanto, para que a irrigação tenha efeitos satisfatórios, todos os demais manejos devem estar equilibrados.

Para permitir melhor entendimento dos conceitos acima especificados apresenta-se a seguir um exemplo que, esperamos, possa elucidar melhor a utilização de índices econômicos para uma tomada de decisão mais assertiva no tocante à aquisição de um sistema de irrigação.

20.4 Implantação do modelo de viabilidade econômica

O exemplo a ser demonstrado está relacionado ao dimensionamento de um projeto de irrigação por microaspersão que foi realizado para o cultivo da cultura da bananeira, considerando as condições edafoclimáticas do município de Janaúba, Minas Gerais. Análises econômicas foram realizadas para cinco projetos em função da jornada diária de irrigação, subtraindo-se horário de pico devido a cobrança de um valor taxativo mais elevado pelo uso da energia e considerou-se o uso da irrigação no período noturno em que se tem um desconto pelo uso da energia e incentivado pelo governo.

Assim, o dimensionamento ocorreu de forma a obter pouca variação na utilização de equipamentos e materiais do projeto com sistemas mais viáveis de serem instalados.

20.4.1 Dados da área irrigada

Para implantar um bom projeto, necessita-se de uma base de dados específicos do local a que se pretende realizar o empreendimento.

Os dados obtidos foram de tamanho da área, tipo de solo, topografia do terreno e dados climatológicos (equivalentes às médias históricas da região norte mineira).

A área a ser cultivada foi escolhida de 20 hectares, com declividade de 3%.

Segundo revisão de literatura, usou-se o valor de 6,2 mm dia⁻¹ para a evapotranspiração de referência e um coeficiente da cultura de 1,2, resultando em uma evapotranspiração da cultura de 7,4 mm.dia⁻¹.

A altitude local é de 516 m, com latitude de 15° 47' 29" S, longitude de 43° 17' 88" E, precipitação pluvial média anual de 800 mm, sendo o clima classificado com Aw (tropical de savana), pela classificação de Köppen-Geiger (ALVARES *et al.*, 2013)

20.4.2 Dimensionamento

No dimensionamento dos projetos de irrigação definiu-se a lâmina, tempo de utilização, cálculo da vazão, dimensionamento do sistema hidráulico (incluindo o conjunto motobomba).

20.4.3 Definição da lâmina de irrigação

A lâmina de irrigação aplicada corresponde ao fator de cobertura e principalmente à evapotranspiração da cultura que varia em função da cultura, pelo seu ciclo fenológico, bem como das condições climáticas da região, como precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Como o local escolhido está incluso na região semiárida, não se considera a precipitação efetiva.

A evapotranspiração da cultura é definida pela Equação 1.

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad (1)$$

em que ET_c se refere à evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); ET_o à evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); e K_c ao coeficiente da cultura, adimensional.

A evapotranspiração para a irrigação localizada (Equação 2).

$$ET_{il} = ET_c \cdot F_c \quad (2)$$

em que F_c se refere ao Fator de cobertura, adimensional; e ET_{il} à evapotranspiração para irrigação localizada (mm dia^{-1}).

E a lâmina líquida foi definida pela Equação 3.

$$LL = ET_{il} - P_e \quad (3)$$

Em que LL se refere à Lâmina líquida (mm dia^{-1}); e P_e à precipitação efetiva (mm dia^{-1}).

A lâmina bruta foi definida a partir da lâmina líquida (Equação 4).

$$LB = LL / E_a \quad (4)$$

em que LB se refere à lâmina bruta (mm dia^{-1}); LL à lâmina líquida (mm dia^{-1}); e E_a à eficiência do sistema, adimensional.

Obteve-se um valor de $7,4 \text{ mm dia}^{-1}$ para lâmina líquida e $8,26 \text{ mm.dia}^{-1}$ para a lâmina bruta, através de 90 % de eficiência, índice comumente utilização em irrigação localizada.

20.4.4 Tempo de utilização

Considerou-se o tempo da jornada de irrigação será no período entre 9 horas e 21 horas de irrigação diárias. Sendo que jornadas de 9 horas por dia já contempla toda a faixa de tarifa reduzida do período noturno, não se justificando avaliar jornadas menores que esse valor. Para jornadas superiores a 21 horas diárias, necessariamente, o sistema de irrigação seria utilizado em horário de ponta, onde o custo do consumo chega a ser muito mais caro.

Logo foram utilizadas para dimensionamento as jornadas de: diárias de 9h, 12h, 15h, 18h e 21horas.

20.4.5 Cálculo da vazão

Após ser feito cálculos de tempo de operação e número de setores, dividiu-se a área em blocos definindo quantos blocos seriam irrigados simultaneamente resultando em um setor. Como cada projeto terá uma jornada diferente, conseqüentemente terá uma vazão diferente e um número e tamanho de setor diferente. Dessa forma, utilizou a equação 5 para o cálculo da vazão.

$$Q_s = 10 \cdot [AS/A_p] \cdot N_e \cdot q_e \quad (5)$$

em que Q_s se refere à vazão do sistema, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$; AS à área do setor, ha; A_p à área por planta, m^2 ; q_e à vazão do emissor, L h^{-1} ; e N_e ao número de emissores por planta.

20.4.6 Dimensionamento hidráulico

A partir do resultado da vazão necessária para cada sistema de irrigação, dimensionou-se todo o sistema hidráulico respeitando os critérios de irrigação. Um dos critérios padrão durante o dimensionamento foi o de velocidade da água dentro dos tubos, sendo valor próximo de 1 m.s^{-1} na sucção e próximo de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ na adução e linha principal. Outro critério utilizado foi a variação de pressão em cada linha subunidade operacional, garantindo uma variação máxima de 20 % da pressão de serviço média dos emissores, garantindo uma uniformidade adequada nos projetos.

20.4.7 Cálculo dos custos

Em decorrência do dimensionamento dos projetos de microaspersão, obteve-se a relação dos materiais e equipamentos para a sua implantação. Através dessa relação, foi feito um orçamento em empresas do ramo em Montes Claros, Minas Gerais, no mês de abril de 2021. De posse do orçamento de cada projeto, comparou-se os preços entre si.

20.4.8 Custo de energia

Os cálculos do consumo e do custo de energia elétrica foi feito com base na potência e no horário de utilização, utilizando-se as equações 6 e 7.

$$CM = (Pn \cdot 0,736 \cdot IC) / (\eta \cdot FP) \quad (6)$$

em que Pn se refere à potência nominal (cv); 0,736 ao fator de conversão (cv kW⁻¹); η à eficiência do motor, adimensional; IC ao índice de carregamento (adimensional); FP ao fator de potência, adimensional; e CM ao consumo médio (KWh).

$$V_{\text{consumo}} = TC \cdot CM \quad (7)$$

em que Vconsumo se refere ao valor de consumo; TC à tarifa de consumo (R\$ kWh⁻¹); CM ao consumo medido (kWh).

Multiplicou o consumo pela jornada utilizada em cada projeto e obteve o consumo diário. Usou-se o cálculo de tarifa reduzida em 9 horas de cada projeto, com valor da tarifa reduzida em 73%, e o restante do dia para cada projeto usou-se o valor de tarifa normal para zona rural. A partir daí, considerou-se a utilização de 270 dias de irrigação por ano. O valor utilizado para a tarifa energética da Cemig foi de R\$0,66301 por kWh, valor este vigente em abril de 2021.

20.4.9 Análise econômica

Para a realização de um projeto é necessário, obviamente, por uma tomada de decisão que tenha critérios técnicos. O método mais eficiente e bastante útil é simular o investimento a partir de algum modelo, assim poderá ser gerado fluxos de caixa com o investimento feito. Existem vários métodos para auxiliar na tomada de decisão. O Payback, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) foram os métodos escolhidos.

Como não há receitas nesses sistemas, foi preciso confrontar todos os custos com uma jornada padrão, foi escolhido a jornada de 21 horas para realizar tais análises.

Antes de fazer esse confrontamento, determinou-se para cada projeto, um fluxo de caixa anual cujo período em análise foi de 20 anos. Cada fluxo de caixa levou em consideração os seguintes itens de custos: custos de energia, manutenção e depreciação. A partir do fluxo de caixa anual de cada projeto, realizou-se o confrontamento de cada projeto pelo projeto com tempo de 20 h/dia. Esse confrontamento nada mais é do que a subtração dos valores encontrados no projeto de 21 horas diárias pelos valores de cada projeto com os tempos de 9, 12, 15 e 18 horas diárias.

O custo de manutenção foi estimado em 5% do custo de implantação, isso significa que, existe gastos anuais para manter o sistema funcionando.

A depreciação foi calculada a partir da equação 8.

$$DA = (Vi - Vf) / VU \quad (8)$$

em que DA se refere à depreciação anual (R\$ ano⁻¹); Vi ao valor de implantação (investimento), R\$; Vf ao valor final dos equipamentos do sistema, R\$; e VU à vida útil do sistema, anos.

O valor final foi considerado nulo, já que os equipamentos do sistema não serão vendidos durante ou após a análise. A vida útil do sistema foi considerada 20 anos.

A taxa de juros foi considerada a um valor de 6% ao ano do valor investido (implantação).

Após realizar todos esses cálculos para cada jornada, foi feito o confrontamento desses valores das jornadas de 9,12,15 e 18 horas com os valores da jornada de 21 horas. Esse confrontamento é feito pela subtração do valor de implantação, custo de energia anual, depreciação e custo de manutenção da jornada de 21 horas pelos valores das jornadas de 9,12,15 e 18 horas.

Ao se obter esses dados, usou-se as análises econômicas.

20.4.10 Valor presente líquido

O valor presente líquido foi determinado conforme equação 9.

$$VPL = -I \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n} \quad (9)$$

em que I se refere ao investimento inicial; FCt ao fluxo de caixa líquido no ano "t"; r à taxa de desconto definida pela empresa, ou taxa de juros considerada; e VR ao valor residual do projeto ao final do período de análise (enésimo período).

A taxa de desconto definida foi de 6% aa, o valor residual VR foi considerado nulo (não será retirado o sistema implantado no local, ou seja, não será vendido).

Assim, realizou-se o cálculo do VPL através dos valores dos itens confrontados.

O projeto é considerado viável economicamente quando o VPL é positivo para uma análise de 20 anos nesse exemplo, e, o maior valor VPL representa maior viabilidade.

20.4.11 Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros recebida para um investimento que consiste em pagamentos (valores negativos) e receitas (valores positivos) que ocorrem em períodos regulares, o período regular neste caso foi de 20 anos. Nos valores do fluxo de caixa para o cálculo, deve conter pelo menos um valor positivo e um negativo para calcular a taxa interna de retorno, assim obtivemos no ano zero um valor negativo (já que é um desembolso) e os demais positivos. A TIR está intimamente relacionada com VPL, e seu valor será obtido quando o Valor presente líquido for igual a zero. Assim, quando o custo de capital for menor que a TIR o projeto é aceito (VPL maior que zero) e o projeto que apresenta maior TIR é o mais rentável.

20.4.12 Payback

Para saber em quanto tempo o valor investido será recuperado, foi realizado o método de análise Payback e para isso foi realizado o cálculo de valores cumulativos dos fluxos de caixa, onde o payback é encontrado quando o fluxo de caixa acumulado é igual a zero.

20.5 Resultados obtidos

A redução dos custos em um projeto é de fundamental importância em seu dimensionamento. Assim, os cinco projetos foram dimensionados de forma a reduzir os custos.

Por isso, a área foi dividida em blocos irrigados para uma redução de custos em sistemas de irrigação por ser uma alternativa de diminuição da vazão de projeto.

A Figura 1 mostra como foi realizado a divisão da área em blocos, esses por sua vez, formam setores dependendo da vazão de cada projeto. O layout da figura refere-se apenas para as jornadas de 9, 15 e 18 horas, sendo a área de 1 hectare para cada bloco resultando em 20 blocos.

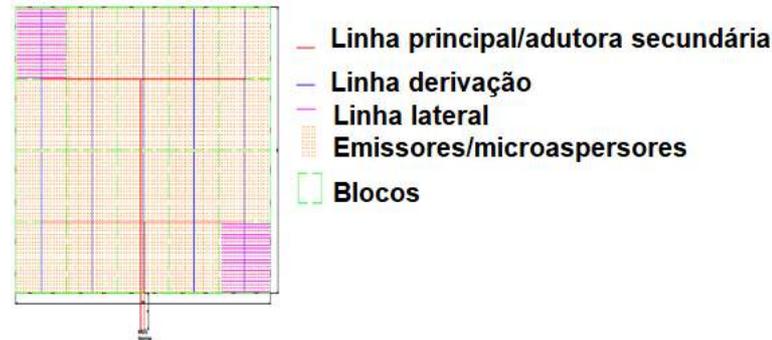


Figura 1. Divisão de blocos das jornadas 9, 15 e 18 horas diárias.

A Figura 2, já se refere às jornadas de 12 e 21 horas com divisão de blocos com 1,1 hectare cada.

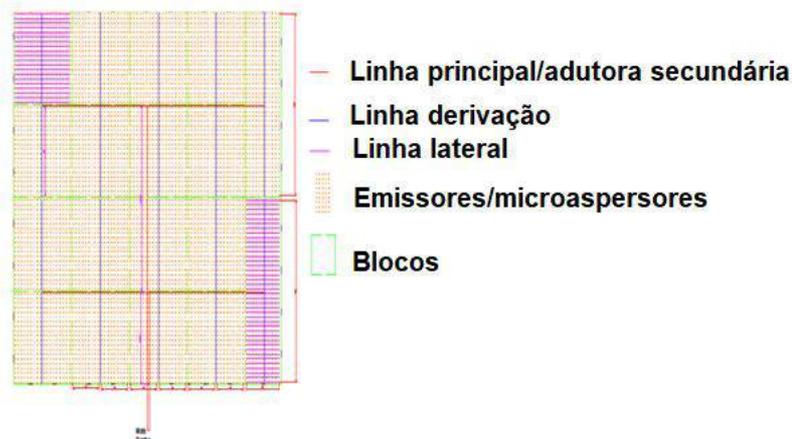


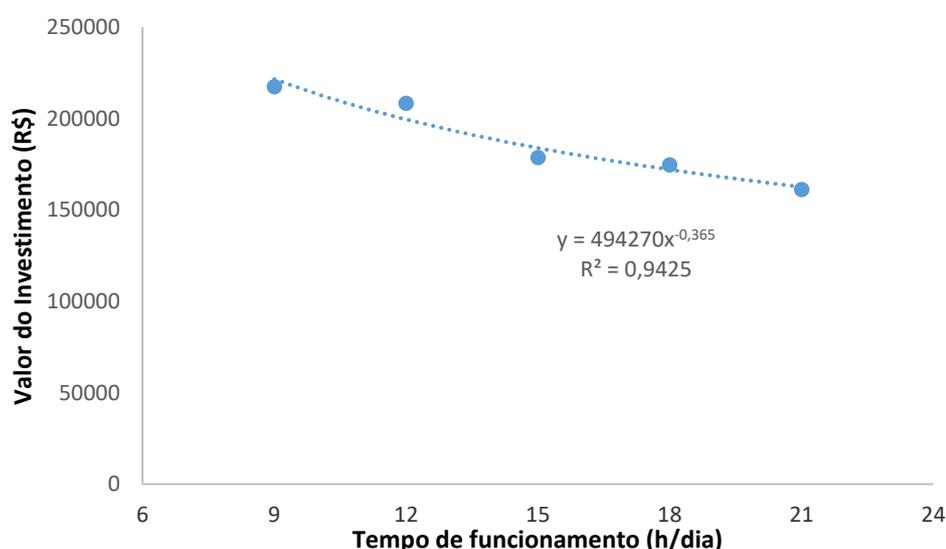
Figura 2. Divisão de blocos das jornadas 12 e 21 horas diárias.

20.5.1 Análise custo de implantação

Para cada projeto dimensionado, obteve-se uma vazão e um conjunto motobomba de potência diferente. Devido ao fato de que foram diferentes jornadas diárias alterando assim o valor da vazão e conseqüentemente a potência da bomba, já que essa é definida em função da vazão e da altura manométrica. A altura manométrica teve uma variação máxima de 10% entre os projetos dimensionados devido a mudança de diâmetro na tubulação alterando a perda de carga e essa perda teve pouca alteração pelo fato de todos os projetos serem dimensionados com um mesmo padrão de velocidade na condução da água (Tabela 1).

Tabela 1. Potência da bomba, vazão e altura manométrica nos 5 projetos dimensionados em função da jornada diária de trabalho.

Jornada (horas/dia)	Vazão (m ³ /h)	Altura Manométrica (mca)	Potência no eixo da bomba (cv)
9	183,3	49,11	45,07
12	137,8	51,28	35,36
15	110	49,14	27,06
18	92	54,17	24,94
21	78,9	51,93	20,50

**Figura 3. Valor do investimento no sistema de irrigação em função do tempo de funcionamento diário.**

É possível observar o aumento da vazão inversamente proporcional ao tempo de funcionamento do sistema de irrigação, o que afeta consequentemente na maior potência demandada.

Na Figura 3 apresenta-se a relação entre valor do investimento no sistema de irrigação e o tempo de funcionamento do mesmo para efeito de projeto. É nítida a redução do investimento com o aumento da jornada de trabalho diária, e, portanto, induz ao irrigante avaliar a sua disponibilidade financeira para o investimento. Nesse exemplo, a redução de 21 para 09 horas, ou seja, 57% de redução no tempo de funcionamento diário, provocou um aumento de R\$56.208,00, ou seja, R\$2.810,40/ha, aumentando, portanto, 38,87% no custo do sistema de irrigação. Assim quanto menor a jornada diária de irrigação, maior será o gasto na instalação do sistema.

20.5.2 Análise dos custos de energia, de manutenção e de depreciação

Apresenta-se na Figura 4 o efeito do aumento da jornada diária de irrigação, o dimensionamento para cada uma altera em seus consumos de energia. É possível observar que o consumo horário de energia se reduz com o aumento do tempo de irrigação diário.

Na Figura 5 estão os valores do custo anual com englobados energia, depreciação e manutenção do sistema de irrigação, em função da jornada diário de funcionamento do

sistema de irrigação. É possível observar que os custos anuais aumentam com o aumento do tempo diário de funcionamento.

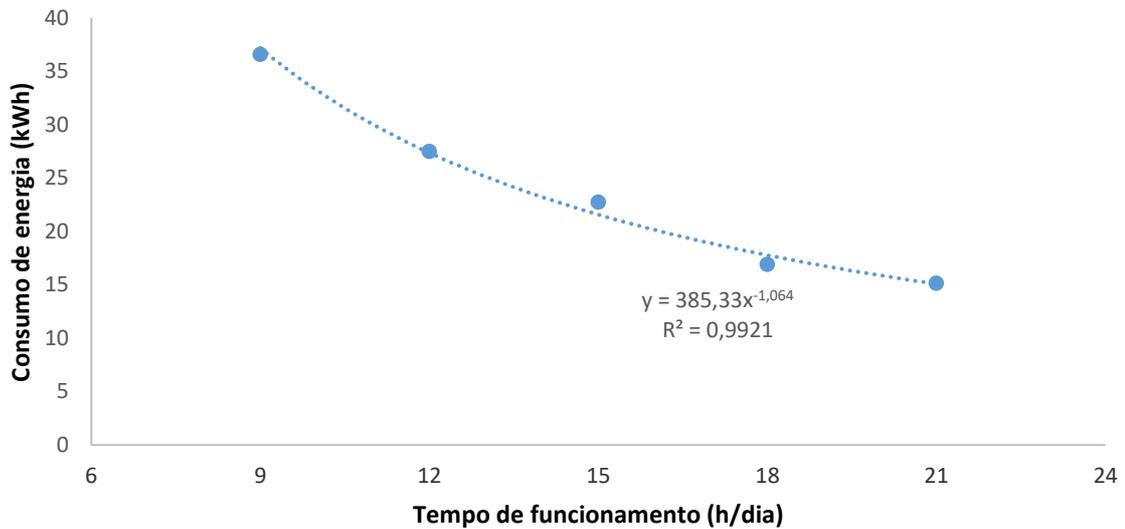


Figura 4. Consumo de energia do sistema motobomba em função do tempo de funcionamento diário do sistema de irrigação.

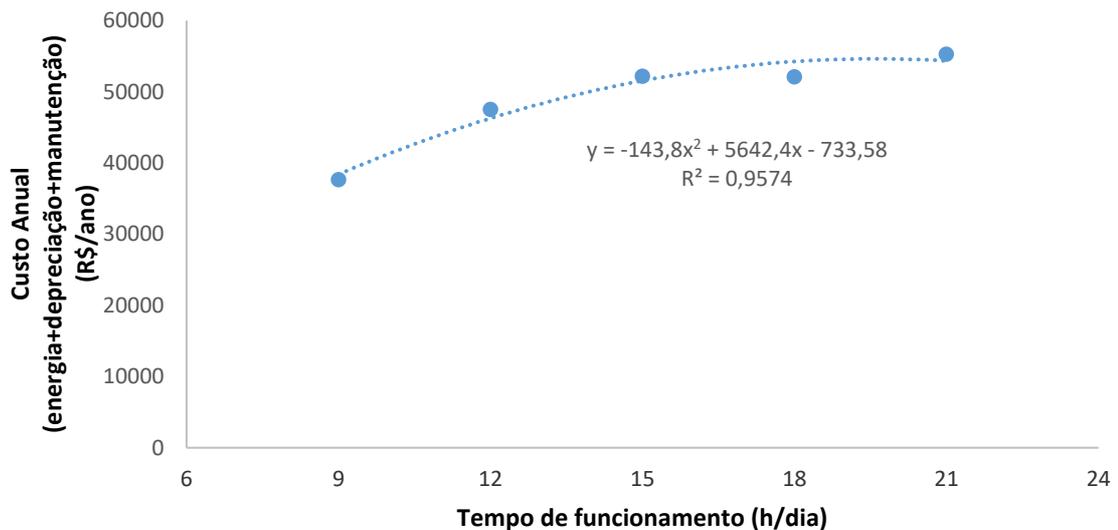


Figura 5. Valores do custo anual (energia + depreciação + manutenção) do sistema de irrigação em função do seu tempo de funcionamento diário.

A redução do tempo de irrigação de 21 para 09 horas diárias proporcionou uma redução de custos anuais de R\$17.650,32, ou seja, R\$882,52/ha. Tal redução representa 46,87% nos custos anuais com energia, depreciação e manutenção do sistema de irrigação. Essas observações permitem com certeza, a partir de bases financeiras uma melhor tomada de decisão.

20.5.3 Análise viabilidade econômica

Como mencionado anteriormente, os valores dos índices VPL, TIR e PAYBACK estão apresentados em comparação ao tempo de funcionamento de 21h/dia.

Na Tabela 2 apresenta-se os valores do VPL e TIR dos projetos com jornadas de trabalho de 9, 12, 15 e 18 horas por dia.

Tabela 2. Valores obtidos pelos índices do VPL, TIR e Payback.

Índice	9 horas	12 horas	15 horas	18 horas
VPL (R\$)	137.962,01	39.645,18	17.203,89	22.000,72
TIR (%)	31,27	15,61	17,10	23,47
PAYBACK (anos)	4	8	7	5

É possível observar, que em função de todos os valores de VPL estarem positivos, é mais vantajoso financeiramente trabalhos com tempos de irrigação de projeto que sejam menores que 21h diárias, sendo que o tempo de 9 horas diárias se mostrou o mais viável financeiramente.

No tocante a avaliação da TIR, como todos os valores são maiores que 6% aa, isto demonstra também ser viável esse dimensionar sistema de irrigação com tempo diário de funcionamento menor que 21 horas por dia, sendo o tempo de 9 horas de jornada diária o mais viável financeiramente por apresentar a maior TIR.

Em relação ao Payback, as conclusões são as mesmas das anteriores, cujo tempo de retorno do maior montante de recursos financeiros investidos num sistema de irrigação com 09 horas de funcionamento diários retorna ao bolso do investidor num período de 4 anos.

Em trabalho realizado por Lopes (2014) com os mesmos dados desse exemplo, entretanto, com os valores correspondentes à época o VPL com maior viabilidade foi também para o tempo de funcionamento diário de 9 horas, enquanto para a TIR e o Payback o tempo de funcionamento diário mais viável foi o de 15h. Isto demonstra a importância de se fazer essas avaliações no momento da aquisição do sistema de irrigação, uma vez que as variações de preços interferem nos resultados econômicos.

O sistema dimensionado para uma jornada de 9 horas diárias, apresenta maior viabilidade econômica em todos os índices analisados. Entretanto, sob um olhar também operacional e de gerenciamento da irrigação talvez fosse interessante dimensionar esse sistema com um tempo de 11 a 12 horas diárias de funcionamento, pois é comum ter que se realizar fertirrigações nos períodos diurnos, o que aumentaria os custos de energia, por outro lado, nas épocas de menor evapotranspiração ao longo do ano, os tempos de irrigação seriam menores do que 9 h/dia perdendo-se esse descontando de 73% da tarifa energética.

20.6 Considerações finais

A aquisição de sistemas de irrigação requer desembolsos financeiros que, geralmente são maiores que o próprio valor da terra, ademais, o aumento da produtividade bem como da produção anual precisa garantir um acréscimo da renda do irrigante, de modo que permita a recuperação do capital utilizado no investimento do equipamento de irrigação.

Muitas das vezes o produtor rural realiza a compra do seu sistema de irrigação sem considerar que o seu valor é influenciado por inúmeros fatores, um dos quais é o tempo de funcionamento do mesmo na época de máxima demanda evapotranspirométrica. Com o crescente aumento dos preços dos componentes dos sistemas de irrigação bem como da tarifa de energia, é preciso avaliar a viabilidade econômica de se utilizar um tempo menor a ser utilizado na jornada diária máxima de funcionamento do sistema de irrigação. Para o

embasamento desta decisão, o ideal é utilizar índices econômicos que permitam orientar qual a melhor decisão a ser tomada.

No exemplo aqui apresentado, o dimensionamento de projetos de microaspersão para a cultura da bananeira na região de Janaúba Minas Gerais, é mais viável economicamente, de acordo com o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e PayBack, a uma jornada diária de irrigação de 9 horas.

Referências

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-4 – Avaliação de bens parte 4: empreendimentos. Rio de Janeiro, 2002.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. **Manual de Irrigação**. 9. Ed. Editora UFV. 2019. 545 p.

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L.P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 3. Ed. – Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010. 164p. (Gerenciamento de projetos).

CASAROTTO FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 10. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

COELHO, S.T. **Matemática financeira e análise de investimentos**. São Paulo: Ed. Nacional, EDUSP, 1979. 279p.

COUTO, C.A.; DOURADO, W.S.; JÚNIOR, J.A.; SOUZA, E.R.B.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A.W.P. Viabilidade econômica do uso de irrigação por microaspersão em cultivares de bananeira na região central do Estado de Goiás. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.4, p.19015-19032, 2020.

FRIZZONE, J.A. **Planejamento da irrigação uma abordagem às decisões de investimento**. Piracicaba: Esalq/USP, 1999. 110p.

FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FREITAS, H.A.C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, 1994.

FURLANETO, F.P.B.; MARTINS, A.N.; CAMOLESI, M.R.; ESPERANCINI, M.S.T. Análise econômica de sistemas de produção de banana (*Musa* sp.), cv. Grande Naine, na região do Médio Paranapanema, estado de São Paulo. **Científica**, v.35, n.2, p.188-195, 2007.

HARTZER, J.H.; SOUZA, A.; DUCLÓS, L.C. Método de Monte Carlo aplicado à análise de projeto: estudo de investimento em um empreendimento hoteleiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 13, 2013, Porto. **Anais...** Porto, 2013.

HIRSCHFELD, H. Engenharia econômica e análise de custos. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1989.

LOPES, R.G.N. **Avaliação financeira de projetos de irrigação por microaspersão para a cultura da banana cultivada no norte de Minas Gerais**, 37., 2014. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Ed. UFV: Viçosa, 358p., 2007.

MARQUES, P.A.A.; MARQUES, T.A.; COELHO, R.D. Programa pupunha: software para avaliação econômica da irrigação da pupunha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. Trabalho 112, (CD-ROM).

MELO, M.A.B.C. Municipalismo, nation-building e a modernização do Estado no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, ano 8, n.23, p.85-100, 1993.

NEWNAN, D.G.; LVELLE, J.P. **Fundamentos da engenharia econômica**. Rio de Janeiro: JC, 2000.

OLIVEIRA, F.G., BARROS, A.C.; SANTOS, M.R.; REIS, J.B.R.S. Análise da viabilidade econômica na implantação de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.42, n.313, p.91-100, 2021.

SCALOPPI, E.J. Exigências de energia para irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.21, p.13-17, 1985.

SILVA, A.L.; FARIA, M.A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.37-44, 2003.

SILVA, M.L.O.; FARIA, M.A.; REIS, R.P.; SANTANA, M.J.; MATTIOLI, W. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.1, p.200-205, 2007.

SOUSA, A.F. Avaliação de investimento: uma abordagem prática. São Paulo: Ed. Saraiva, 2007.

VILAS BOAS, R.C; PEREIRA, G.M.; REIS, R.P.; LIMA JUNIOR, J.A.; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.4, p.781-788, 2011.

Parte IV

RECURSO

HÍDRICO

Parte IV - RECURSO HÍDRICO

CAPÍTULO 21**21 MODELAGEM HIDROGEOLÓGICA APLICADA AO AQUÍFERO URUCUIA: ESTUDO DE CASO**

Eduardo Antônio Gomes Marques, Gerson Cardoso Silva Júnior, Glauco Zely Silva Eger e Archange Michael Illambwetsi

Resumo

Neste capítulo apresentam-se resultados da modelagem hidrogeológica do Aquífero Urucuia no estado da Bahia, executada no âmbito do Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia, realizado pelas equipes da UFV e da UFRJ. O estudo ocorreu em função de necessidade de aumento do conhecimento hidrogeológico deste importante aquífero nacional. Dados secundários e primários foram utilizados para elaborar um modelo hidrogeológico conceitual e numérico, em regime permanente e em regime transiente. O modelo em regime permanente contemplou toda a área do SAU no estado da Bahia (compreendendo porções das bacias hidrográficas dos rios Alto e Médio Grande, Corrente e Carinhanha), enquanto o modelo em regime transiente foi elaborado apenas nas duas principais bacias - Alto Rio Grande e Corrente. No presente capítulo apenas o modelo da sub-bacia do Alto Rio Grande é apresentado como exemplo. Os estudos permitiram identificar as zonas de recarga e descarga do aquífero, realizar o balanço de massa de água subterrânea, identificar as reservas e objetivaram fornecer uma ferramenta importante para a gestão futura dos recursos do aquífero que, no entanto, deve ser objeto de contínua atualização, visando melhorias em sua representatividade e adaptação aos cenários futuros de uso.

21.1 Introdução

Os recursos hídricos subterrâneos têm sido, historicamente e até bem pouco tempo, negligenciados ou relegados a um segundo plano nas ações de planejamento do uso dos recursos hídricos, seja em nível nacional, regional ou local. Esse fato decorre de sua natureza elusiva e ainda pouco conhecida, tanto no meio técnico, quanto pelos administradores e *stakeholders*. Embora a situação tenha evoluído positivamente nos últimos anos, com a realização de vários estudos, tanto acadêmicos quanto por órgãos governamentais, tal herança ainda persiste. Isso se reflete na escassez, má qualidade ou mesmo ausência de dados e de material técnico (monitoramento, estudos e ensaios) que proporcionem um suporte e embasamento adequados a uma correta avaliação e gestão de tais recursos. No Oeste baiano a situação não é diferente.

O Sistema Aquífero Urucuia - SAU (Figura 1), cuja maior parte da área de ocorrência está no oeste da Bahia, permanece ainda com lacunas importantes no conhecimento de seu potencial hídrico, mecanismos de funcionamento hidrogeológico, recarga, fluxos, etc.

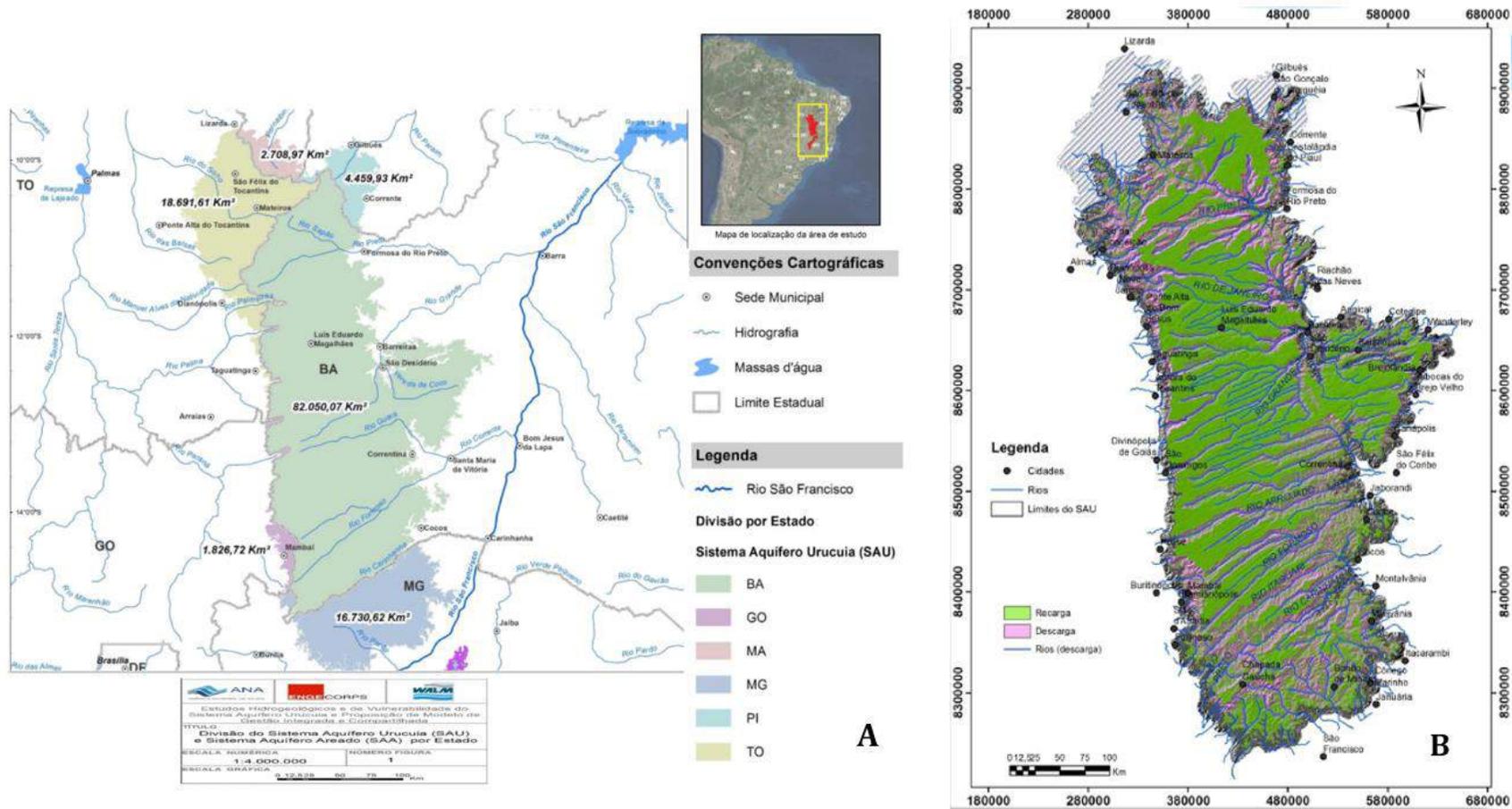


Figura 1. Mapas mostrando: (A) Localização e área total do SAU e detalhe de sua porção em cada estado; (B) Principais drenagens do SAU e áreas de recarga e descarga do aquífero (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

Esse extraordinário reservatório de água, com importância fundamental na manutenção do fluxo de base do sistema fluvial da bacia do rio São Francisco e todo o rico ecossistema do Oeste da Bahia, está sujeito a intervenções humanas, através da expansão da fronteira agrícola e do uso crescente de seus recursos pelo bombeamento de poços e de rios hidraulicamente conectados, para irrigação, como também a variações climáticas, que impõem períodos de seca os quais, segundo os dados mais recentes indicam, serão mais frequentes e acentuados até o final do presente século.

Desse modo, são crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais dessas secas e também das ações humanas, diretas ou indiretas, sobre os níveis de água dos aquíferos, fontes e rios da região. Nesse contexto se insere a presente estudo de caso.

21.2 Motivações do estudo

O estudo foi motivado pela necessidade de proporcionar às partes interessadas (órgãos de gestão, empreendedores, usuários urbanos e rurais, legisladores, etc.) uma compreensão adequada sobre os mecanismos de funcionamento do SAU quanto à recarga, circulação de água e respostas ao *stress* imposto por bombeamentos, modificações no uso do solo (incluindo desmatamentos), períodos de seca e outros. A ideia foi, portanto, realizar um estudo que permitisse o conhecimento dessas características dos aquíferos do SAU baiano. Isso envolve o desenvolvimento e calibração de um modelo matemático de fluxo da água subterrânea, que proporciona uma avaliação integrada desses aspectos. O modelo numérico tridimensional de fluxo do presente estudo foi elaborado com o software *Visual Modflow* 4.6, que permite determinar a água subterrânea disponível, auxilia na avaliação da situação atual e tendências futuras e definir de estratégias de planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas.

A abordagem usada no desenvolvimento do modelo envolveu a divisão do SAU baiano em quatro subáreas de trabalho, obedecendo as bacias hidrográficas fluviais daquele setor, a saber (Figura 2): bacia do Alto rio Grande, do Médio rio Grande, do rio Corrente e do rio Carinhonha (esta última somente a porção da bacia localizada no estado da Bahia). Isso permite acoplar a gestão das bacias hidrográficas ao conhecimento das características do aquífero dentro de seus limites.

O estudo foi executado no âmbito de um estudo mais amplo, o “Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhonha”, fruto de um convênio de cooperação entre o Programa para o Desenvolvimento da Agropecuária do Estado da Bahia (PRODEAGRO) a Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV). Esse convênio permitiu realizar pesquisas científicas sobre o potencial hídrico da região Oeste da Bahia, criando condições para o desenvolvimento sustentável, econômico social e ambiental da região, com a avaliação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea e análise da mudança do uso do solo. O modelo hidrogeológico constituiu, portanto, um subprojeto do Estudo do Potencial Hídrico do oeste baiano.

21.3 Área de estudo

O SAU compreende uma área total de cerca de 125.000 km², estendendo-se desde o sul dos estados do Maranhão e Piauí, até o extremo noroeste de Minas Gerais, sendo a área principal de ocorrência o oeste do estado da Bahia, formando a Chapada do São Francisco (Chapadão do Urucuia) (Figura 1). Estende-se ainda até o nordeste de Goiás e sudeste do Tocantins, constituindo área de relevo tabular (chapada), com suave gradiente topográfico na direção leste (GASPAR; CAMPOS, 2007; KIANG; SILVA, 2015). A área do SAU no estado da

Bahia corresponde a cerca de 2/3 desse total, atingindo cerca de 82.000 km², dos quais 76.000 km², de acordo com Gaspar (2006), funcionam como unidade aquífera, desempenhando as funções armazenadora, reguladora e de filtro (ver Figura 1B). Nas áreas excluídas do SAU, a produção dos poços está ligada à exploração de águas subterrâneas armazenadas no sistema clástico-fissural do Bambuí ou nos aquíferos cristalinos.

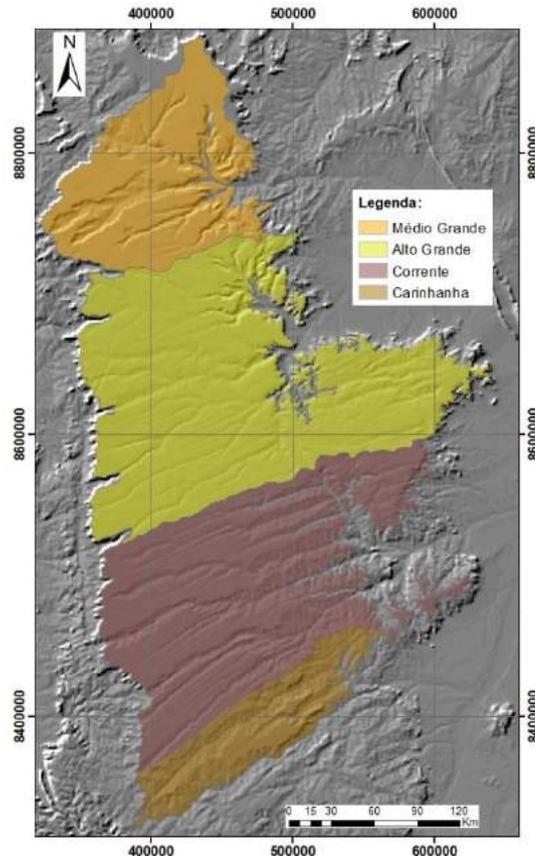


Figura 2. Subáreas adotadas para a realização das simulações do SAU, segundo as bacias hidrográficas da região de estudo: rios Alto Grande, Médio Grande, Corrente e Carinhanha.

O SAU representa o principal manancial subterrâneo do oeste baiano e de porções de território adjacentes em estados limítrofes, caracterizando-se como uma região de grande importância, pois é considerada a nova fronteira agrícola do Estado da Bahia, com taxas crescentes de produtividade nos últimos anos. É uma região na qual os recursos hídricos subterrâneos têm importante papel na produtividade e sustentabilidade do agronegócio local (CAMPOS *et al.*, 2006). A importância estratégica do SAU fundamenta-se não somente pelas crescentes demandas de água, mas também pela sua função de regulador das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco, já que cerca de 30% (durante o período chuvoso) a até 80% (no período seco) das vazões desse rio são suportadas por seus afluentes que nascem no sistema. Provê também a alimentação de nascentes de tributários da margem direita do rio Tocantins, na borda ocidental da Serra Geral de Goiás. De modo geral, as drenagens que correm sobre o Urucuia são perenes, havendo uma forte contribuição da água subterrânea na composição do fluxo total anual dos rios locais.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos desde a década de 2000 na área de abrangência do SAU, envolvendo desde a implantação de poços de monitoramento e execução de testes de bombeamento de poços (escalonado, simples ou de longa duração) e de aquífero, além de aspectos da geologia - sedimentologia, geologia estrutural e hidrogeologia (determinação de parâmetros hidrogeológicos e modelagem hidrogeológica conceitual e numérica).

Dentre os trabalhos com enfoque hidrogeológico, menos comuns nesse contexto, devem-se destacar os desenvolvidos por Gaspar (2006), Gaspar *et al.* (2012), Amorim Júnior e Lima (2007), Bonfim e Gomes (2004), Gaspar e Campos (2007), Barbosa (2016), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017), Gonçalves *et al.* (2020) e Marques *et al.* (2020). Levantamentos e interpretação geofísicos são fundamentais na compreensão da arquitetura, espessura, disposição das camadas e estruturas presentes no SAU, haja vista a vastidão da área de abrangência e a escassez de dados. Vários trabalhos buscam descrever a hidrogeologia a partir de elementos de levantamentos geofísicos, como os de Barbosa *et al.* (2014), Gaspar *et al.* (2012), Nascimento (2003) e Nascimento e Lima (2013). Também, iniciou-se um ciclo de trabalhos que buscam, através de simulações numéricas, obter *insights* sobre o funcionamento do SAU, suas reservas utilizáveis, recarga e outros elementos com a finalidade de fornecer subsídios para a gestão do Sistema (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017; GONÇALVES; CHANG, 2017; ENGELBRECHT; CHANG, 2015).

Desde o ano de 2009, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) propôs e definiu um programa de implantação de uma rede de monitoramento integrado de águas subterrâneas para diversos aquíferos do Brasil, denominada RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas). Especificamente para o SAU implantou-se uma rede de monitoramento composta por 61 poços com *data loggers* instalados e em operação de coleta e armazenamento de dados de profundidade de níveis estáticos, em intervalos de hora em hora, desde 2012 (a partir de 2011 para alguns poços), que estão disponíveis no site da CPRM. Esses dados foram utilizados para avaliar a variação do NA ao longo do período monitorado.

Ressalte-se que, mesmo com esses estudos e esforço de pesquisa recentes, o conhecimento do Sistema Aquífero Urucuia ainda é muito limitado, havendo lacunas e fragilidades no conhecimento em especial com relação à sua espessura, parâmetros hidrodinâmicos, reservas e disponibilidade hídrica, pelo que qualquer estudo embasado do ponto de vista técnico-científico é importante para o avanço nesse conhecimento.

21.4 Etapas do estudo

No contexto do presente estudo, o desenvolvimento do subprojeto de águas subterrâneas teve por objetivo levantar os elementos necessários à elaboração e execução de um modelo hidrogeológico numérico regional de fluxo do aquífero Urucuia (SAU) na sua porção baiana, que permitisse quantificar sua contribuição para o fluxo superficial das drenagens sob sua influência, estimar a recarga ao aquífero, determinar sua potenciometria e sua variação sazonal, contribuir para uma melhoria da estimativa das reservas renováveis e permanentes do sistema e, por fim, servir de base para a simulação de cenários futuros de uso da água subterrânea. Para atender a esses objetivos, o trabalho foi executado por meio das seguintes etapas: (i) Levantamento de dados existentes sobre o SAU: cadastro de poços existentes nos bancos de dados governamentais - RIMAS, SIAGAS, INEMA, CERV, HidroWeb - ANA e inventário de pontos de água regional, incluindo levantamentos de campo para cadastro de nascentes e poços e pesquisa bibliográfica sobre trabalhos geológicos e hidrogeológicos realizados na região; (ii) Criação e digitalização dos dados obtidos em banco de dados georreferenciado em ambiente do *software ArcGis*. Este banco de dados contém, além das informações cartográficas em diferentes escalas, informações sobre a caracterização geológica e hidrogeológica, geomorfologia, vegetação e uso do solo e pedologia. Esses elementos, associados a informações hidrometeorológicas foram utilizados no cálculo da recarga aos aquíferos locais; (iii) Estimativa da recarga ao aquífero através do cálculo de balanço de massas (balanço hídrico), considerando o comportamento do meio poroso; (iv) Realização de testes de bombeamento para determinação de parâmetros hidrogeológicos das unidades que compõem o aquífero, além de levantamento de testes já realizados em outorgas já concedidas;

os testes de aquífero e de produção, incluíram a observação de rebaixamento e recuperação no poço bombeado e nos poços vizinhos. A finalidade foi avaliar a potencialidade e os parâmetros hidráulicos do aquífero, estabelecendo a conectividade entre os poços e a interferência de suas extrações de água subterrânea sobre o aquífero da região; (v) Elaboração do modelo hidrogeológico conceitual: definiu-se o modelo conceitual de funcionamento com a seleção das hipóteses mais adequadas e consistentes a partir dos dados geológicos e hidrogeológicos coletados e disponíveis, processadas com o auxílio de ferramentas de modelagem física. Essa foi a etapa mais laboriosa em termos de consumo de tempo do projeto; e (vi) Elaboração do modelo hidrogeológico numérico, incluindo potenciometria, através da modelação com o *software* Visual MODFLOW: construíram-se modelos hidrogeológicos em fluxo permanente/estacionário (para todas as bacias, para as condições do ano de 2017) e em fluxo transiente para as sub-bacias do Alto Grande e Corrente (para o período de 2008 a 2017), procurando realizar sua preparação, seleção de parâmetros, geometria e calibração, de modo a refletir da maneira mais fiel possível o comportamento do aquífero. Após isso também foram executadas de simulações numéricas de fluxo da água subterrânea objetivando a previsão de comportamento futuro, teste de hipóteses conceituais e subsídio ao gerenciamento do aquífero, como estudo da disponibilidade e checagem com os dados de fluviometria e avaliação do impacto de poços adicionais no SAU.

21.5 Levantamento de dados

A primeira etapa do estudo contemplou a realização de uma ampla pesquisa bibliográfica com enfoque na realização de estudos geológicos e hidrogeológicos que pudessem fornecer informações relevantes ao escopo do estudo proposto. Foram pesquisadas e utilizadas imagens de Satélite SRTM, para uso no modelo numérico, e do Google Earth, como suporte para a realização dos trabalhos de campo. Outros dados foram coletados em artigos técnico-científicos, relatórios técnicos de perfuração de poços e de testes de bombeamento, dissertações de mestrado e teses de doutorado e em relatórios e dados técnicos de órgãos e agências federais e estaduais (ANA, INEMA, CERB, CPRM, UFBA, UnB, UFOB, etc.).

21.6 Inventário de poços

Como etapa inicial do estudo do potencial hídrico subterrâneo, foi realizado um levantamento de informações sobre os recursos hídricos subterrâneos em banco de dados públicos. Os sistemas de informações da CPRM, como o SIAGAS e a RIMAS têm sido aplicados como ferramenta de trabalho em estudos hidrogeológicos diversos últimos anos. O SAU foi objeto de alguns estudos recentes que tiveram como objeto a plataforma de armazenagem, manuseio e gestão dos dados tanto do SIAGAS quanto da RIMAS (SANTOS *et al.*, 2012; VILLAR *et al.*, 2012; 2013; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017). Outras bases como o SEIA (Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos) do INEMA, HidroWEB da ANA e dados fornecidos pela CERB também complementaram as informações do estudo.

21.7 Apresentação e caracterização dos dados existentes nas diversas bases de dados

As informações geradas com o processamento da base de dados do SIAGAS, CERB e outras para o Sistema Aquífero Urucuia são bastante heterogêneas em termos da quantidade e qualidade. Na Figura 3, observa-se que distribuição geográfica dos pontos de água subterrânea do SAU obtidos no SIAGAS é bastante abrangente em relação à área de trabalho, mas com áreas com informações hidrogeológicas notavelmente escassas (p.ex. porção Norte do SAU baiano, Médio Rio Grande e bacia do Rio Carinhanha). Mesmo com essas deficiências

localizadas, o processamento do banco de dados gerado permitiu análises que facilitaram a compreensão do funcionamento hidrogeológico do SAU.

A partir da correlação das informações de nível estático (NE) obtidas dos poços cadastrados, registradas com dados de elevação obtidos de modelos digitais de elevação (MDE) SRTM, obteve-se o mapa potenciométrico preliminar do aquífero (distribuição da carga hidráulica) que evidenciou que o nível piezométrico do aquífero é mais elevado na sua faixa ocidental, acompanhando a altimetria do Chapadão Ocidental do São Francisco (Chapadão Baiano). No geral, as cargas hidráulicas variaram entre 523 m e 887 m e o fluxo ocorre predominantemente de Oeste para Leste (Figura 4).

A partir do cadastro de usuário de recursos hídricos disponibilizado pelo INEMA, foi realizada uma ampla busca por informações de caráter hidrogeológico pelo site do SEIA (Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos), operado pelo governo do Estado da Bahia, plataforma que permite consultar processos de outorga e de outras demandas ambientais cadastradas no instituto.

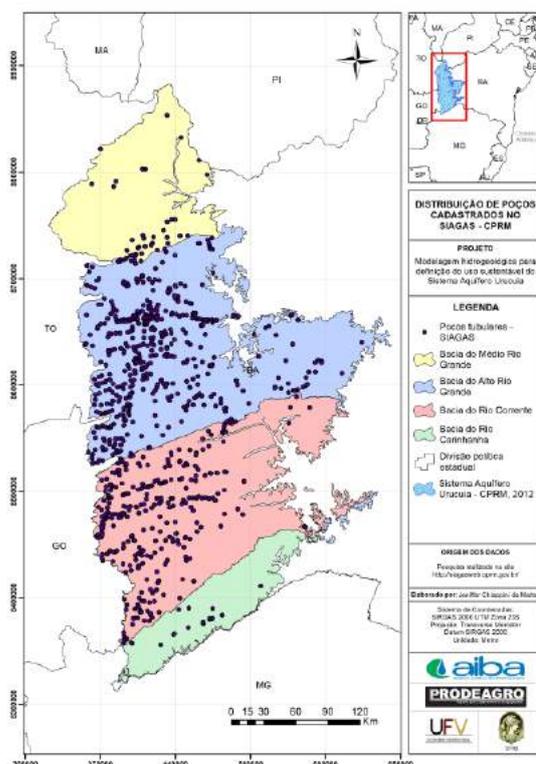


Figura 3. Mapa com os poços cadastrados no SIAGAS, em relação às três bacias hidrográficas principais da área de estudo – Grande (ao Norte, em Verde claro), Corrente (ao Centro, em verde) e Carinhanha (ao Sul, em rosa).

Os arquivos obtidos incluem formulários de dispensas de outorga, relatórios de perfuração de poços, projetos básicos do empreendimento e portarias de outorga. As informações foram consolidadas em planilha para posterior emprego em plataforma GIS. Foram levantados no sistema um total de 473 poços, dos quais, entretanto, apenas 101 pontos possuem todas as informações básicas disponíveis.

Parte dos dados de perfuração dos poços da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) foram cedidos para a equipe do subprojeto de água subterrânea do SAU, visando a composição do banco de dados hidrogeológicos utilizados na elaboração do modelo conceitual e aplicação de informações no modelo computacional. Na região do Sistema

Aquífero Urucuia foram identificados 69 poços da CERB, distribuídos nos municípios de Barreiras, Correntina, Cocos, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães, São Desidério e Riachão das Neves. Os poços possuem uma profundidade média de aproximadamente 100m, sendo os mais rasos com 27m e os mais profundos com 240m. As vazões médias são de aproximadamente $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Como observado nos levantamentos de campo os poços da porção leste do SAU apresentam um nível d'água mais raso, com profundidades menores que 10m. Este comportamento é observado nos poços dos municípios de Riachão das Neves e Cocos.

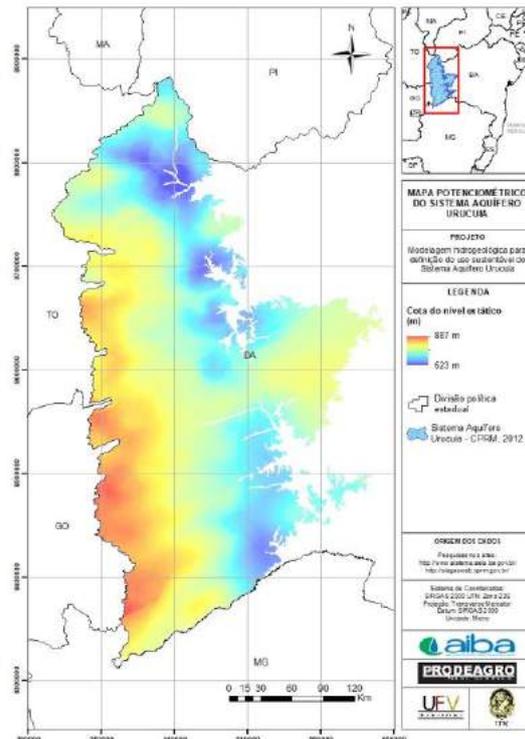


Figura 4. Mapa da interpolação da potencimetria do Aquífero Urucuia e a partir de poços cadastrado no SIAGAS com informações para o cálculo da Carga Hidráulica.

Na porção mais ao norte, no município de Formosa do Rio Preto, o comportamento observado é diferente, caracterizado por um nível d'água substancialmente mais profundo, com valores maiores que 50m. Esta alteração de comportamento pode ser atribuída à uma influência do Arco do São Francisco, uma elevação do embasamento geológico que divide a porção norte da bacia Sanfranciscana da porção sul da bacia do Parnaíba.

A Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), concebida em 2009 e em operação e expansão pela CPRM, tem por objetivo estabelecer uma rede de monitoramento permanente e contínuo capaz de propiciar, a médio e longo prazos, a identificação de impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação dos terrenos, a estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo, dentre outras informações, em todo o país (MOURÃO; PEIXINHO, 2012). Conta atualmente com 400 poços de monitoramento instalados nos principais aquíferos do país, dos quais 61 no oeste do estado da Bahia, concentrados nas bacias do Alto Rio Grande e Corrente.

Com base nos dados coletados na RIMAS, observa-se que a sub-bacia do Corrente apresenta rebaixamento do nível freático entre os anos 2015 e 2018, principalmente em sua parte centro-leste (Figura 5). Da observação da porção inferior dos mapas mostrados na Figura 5, pode-se notar, para a bacia do rio Corrente, rebaixamentos localizados de até 15 m. Nos anos de 2014 a 2016 ocorreram eventos de seca extrema na bacia, mas esse fenômeno não

parece ter influenciado o rebaixamento do lençol freático neste período. Já em 2018, observa-se um aumento da área atingida por um maior rebaixamento do NA, muito provavelmente em função da superexploração das águas subterrâneas, aliada à redução de recarga do aquífero nos anos anteriores, a despeito de 2017 ter sido um ano com maiores precipitações que os dois anos anteriores. O rebaixamento observado no aquífero resultou, inclusive, no desaparecimento de algumas nascentes localizadas na porção nordeste da bacia.

Já para a sub-bacia do Alto Rio Grande, os dados de monitoramento permitem a análise em um período de tempo mais longo, entre 2011 e 2018, conforme se observa na Figura . Os dados de monitoramento mostram que no período de 2011 a 2013 houve pouca variação do NA. De 2014 a 2018, entretanto, um aumento progressivo do NA, em especial na porção oeste da sub-bacia, resultando, em 2018, em um rebaixamento de 6m nas proximidades do limite oeste do SAU. Esse efeito é efeito do aumento do bombeamento de água devido ao aumento do número de pivôs de irrigação implantados na bacia no período considerado e, também, de mudanças climáticas, já que se observou uma redução da intensidade de chuvas nessa região em anos recentes, conforme detalhado no capítulo referente à análise de uso do solo no Oeste da Bahia.

21.8 Processamento dos dados pré-existent

Os dados coletados em bancos públicos (SIAGAS, INEMA, CERB, CNARH) totalizaram 2305 poços. Contudo, foi necessário levar em consideração que as informações poderiam ter duplicidade, ou seja, alguns poços poderiam estar cadastrados em mais de um banco.

Com o intuito de remover os dados duplicados, a etapa subsequente do trabalho foi sua análise detalhada. As informações foram unificadas em uma única planilha e, em seguida, foram ordenadas com base nas coordenadas de localização de cada ponto, para facilitar a busca por poços ambíguos. Considerou-se que as coordenadas do mesmo poço poderiam variar alguns metros de uma base para outra, de acordo com a precisão de cada método de aquisição. Assim, a busca não foi feita apenas por coordenadas exatamente iguais, mas também pelas próximas, tornando necessário observar os outros parâmetros.

Durante a verificação encontraram-se falhas, como divergência de informações entre as diferentes fontes e eventuais erros de digitação; e lacunas nas informações hidrogeológicas disponibilizadas. Os poços duplicados foram eliminados e as informações consolidadas.

Após a consolidação e consistência dos dados, foram contabilizados 1616 poços cadastrados. Desse total, apenas 259 poços têm informações completas, incluindo: profundidade, vazão requerida, vazão de estabilização, níveis estático e dinâmico. Para uma avaliação quantitativa e qualitativa dos dados foram gerados gráficos, tabelas e mapas que possibilitaram melhor visualização e interpretação.

A finalidade de uso da água subterrânea foi um dos parâmetros analisados e, dos 1616 poços cadastrados, apenas 1141 (70%) especificam o tipo de uso da água, a saber: irrigação (21%), consumo humano (29%), criação animal (5%), uso múltiplo (7%), monitoramento (3%), indústria (3%), uso urbano (1%), e pulverização agrícola (1%). Outros atributos coletados foram os níveis estáticos e dinâmicos e as vazões de estabilização e requerida dos poços. Dos 841 dados coletados referentes à vazão requerida, mais de 500 apresentavam valores inferiores a 100m³/dia e apenas 250 ultrapassavam esse valor.

As informações dos níveis estáticos estão disponíveis em 907 pontos e os valores chegam a 250m, no entanto a maioria dos registros ocorre na faixa de 50m de profundidade. A correlação desses dados com o Modelo Digital de Elevação, obtida a partir do SRTM, permitiu a elaboração do mapa potenciométrico, mostrado na Figura , no *Software* ArcGIS, através da *krigagem*, um método de interpolação de dados geoespaciais.

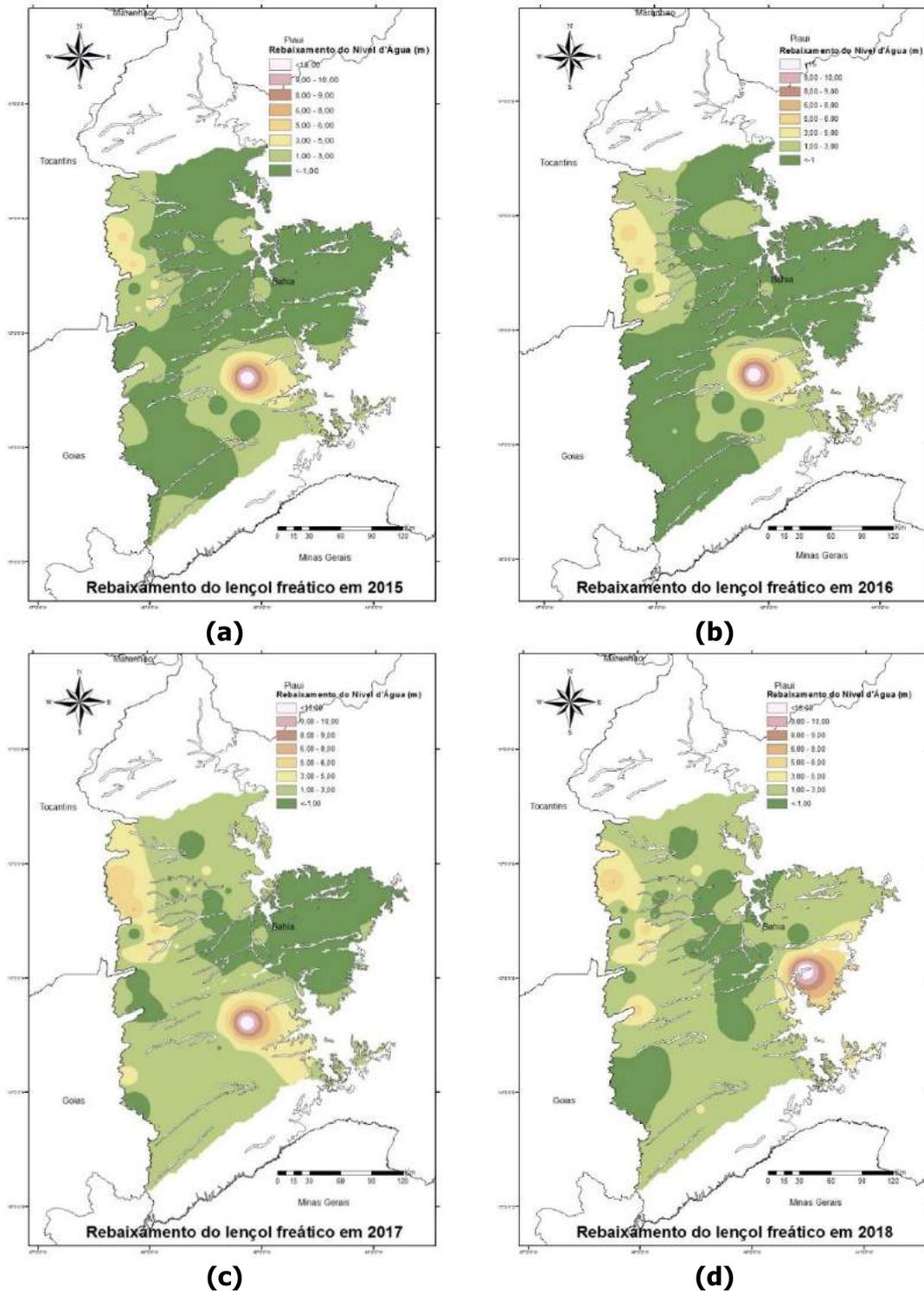


Figura 5. Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia do rio Corrente e Alto rio Grande, para o período 2015 a 2018.

As informações dos níveis estáticos estão disponíveis em 907 pontos e os valores chegam a 250m, no entanto a maioria dos registros ocorre na faixa de 50m de profundidade. A correlação desses dados com o Modelo Digital de Elevação, obtido a partir do SRTM, permitiu a elaboração do mapa potenciométrico, mostrado na Figura 8, no *Software* ArcGIS, através da *krigagem*, um método de interpolação de dados geoespaciais.

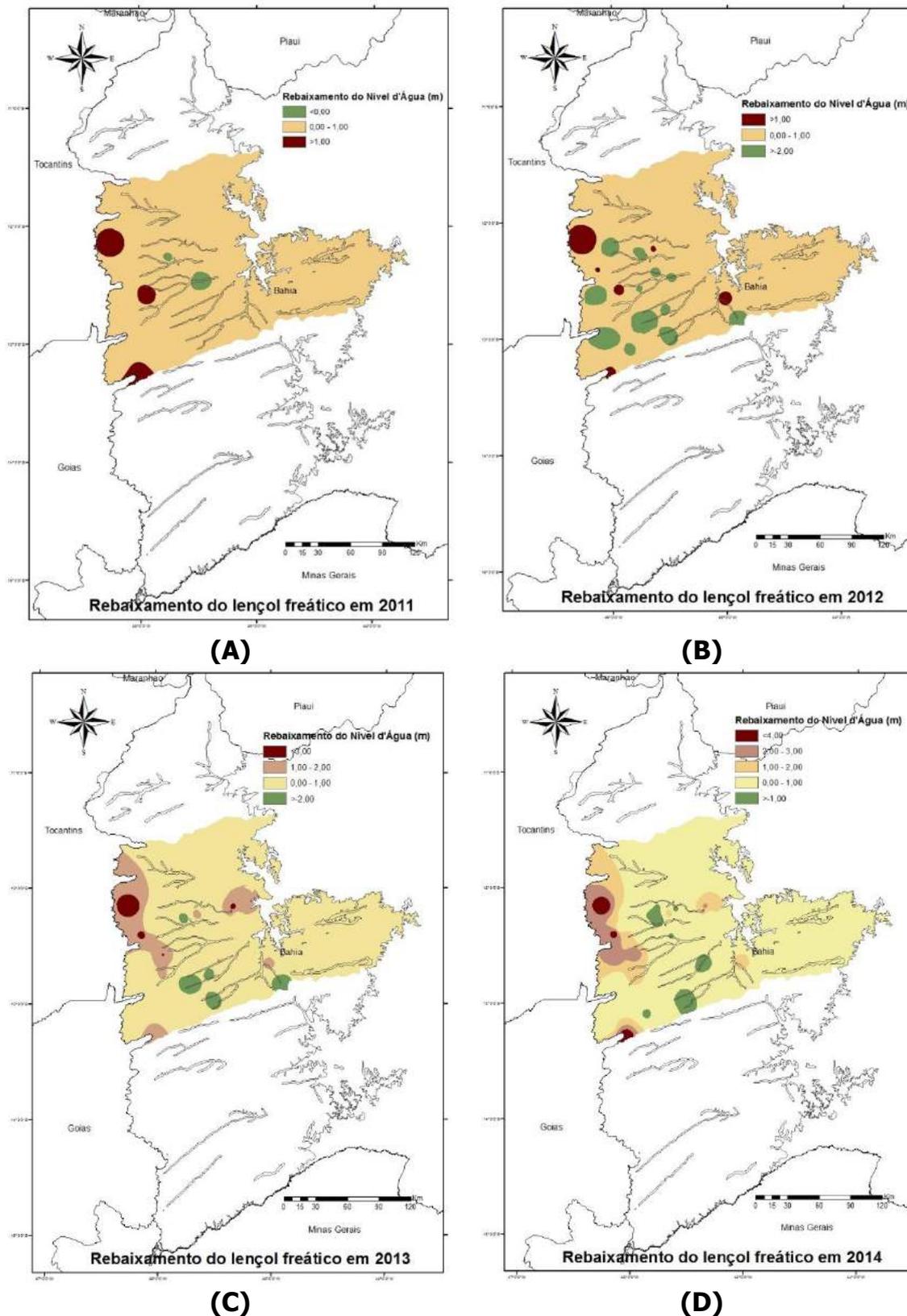


Figura 6. Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia alto Rio Grande em (A) 2011, (B) 2012, (C) 2013 e (D) 2014.

A distribuição dos pontos de medições de nível piezométrico (potenciometria) é relativamente regular na maior parte da área do SAU na Bahia, ainda que com a presença de

áreas bastante importantes com notória escassez de informações na bacia do Carinhanha e no Médio Grande, principalmente nesta última. Desse modo, a elaboração de mapas com informações potenciométricas do SAU foi possível com razoável resolução.

O estabelecimento da espessura do SAU e de suas subunidades, contudo, foi muito mais difícil de estimar. Isso ocorreu devido a dois motivos: (i) com relação à base do SAU, as escassas informações disponíveis sobre a base das unidades, devido à grande profundidade desse corpo hídrico, já que raramente os poços atingem o embasamento do aquífero; e (ii) ao fato de que os limites entre a Fm. Serra das Araras e a Fm. Posse serem de difícil definição em poços de água particulares, nos quais não há uma preocupação maior em estabelecer a estratigrafia regional. Assim, contou-se com os escassos poços estratigráficos existentes e os levantamentos geofísicos realizados nos últimos anos no sistema aquífero.

21.9 Características geológicas e o modelo geológico conceitual

A área de estudo compreende duas sequências geológicas principais: a sequência meso a neoproterozoica do Supergrupo São Francisco (Neoproterozoico); e a unidade designada como Bacia Sanfranciscana, uma sequência de sedimentos fanerozoicos da Sub-bacia Urucuia que sobrepõe a sequência do Supergrupo São Francisco (CAMPOS; DARDENNE, 1997). Os sedimentos cretáceos da Sub-bacia Urucuia, designados como Grupos Urucuia (Neocretáceo) e Areado (Eocretáceo), distribuem-se amplamente pelos Estados da Bahia (53%) e Minas Gerais (29%) e também em Tocantins (12%), Piauí (3%), Maranhão (2%) e Goiás (1%). A bacia como um todo possui um comprimento com eixo aproximadamente Norte - Sul de mais de 1000 km e largura de até 250 km (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

Os sedimentos da Bacia Sanfranciscana estão assentados principalmente sobre rochas do embasamento proterozoico do Supergrupo Espinhaço e dos Grupos Arai, Paranoá, Macaúbas e Bambuí, sobre faixas atribuídas ao embasamento granito-gnáissico na porção centro-norte da bacia e sobre sedimentos paleozoicos (grupo Balsas e Serra Grande) e mesozoicos (formações Sambaíba e Mosquito) da Bacia do Parnaíba na porção norte (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017). Capeando a sequência há sedimentos cenozoicos constituídos por coberturas arenosas inconsolidadas da Formação Chapadão, composta por material eluvionar, coluvionar e aluvionar (CAMPOS; DARDENNE, 1997a).

Desse modo, as unidades litoestratigráficas que compõem o SAU são, da base para o topo: (i) Embasamento Cristalino, formado por rochas granito-gnáissicas; (ii) Grupo Bambuí, formados por calcários cinza escuros a negros; (iii) Grupo Urucuia, composto por duas formações: Posse (inferior), constituída por arenitos eólicos, finos a médios, com grãos de quartzo subarredondados a arredondados e estratificações cruzadas de grande porte; e Serra das Araras (superior), composta arenitos brancos, amarelados e avermelhados, argilitos e conglomerados, de origem fluvial, silicificada, com espessura entre 80-150m (SCHUSTER, 2002); e (iv) Coberturas Aluvionares, de idade Quaternária, compostas por areias, cascalho, silte e argila, de coloração cinza escuro e claro, que ocorrem ocupando as calhas das drenagens principais.

Com base em dados bibliográficos obtidos no âmbito do presente estudo, um importante aspecto a ser destacado se refere à elevada variação da espessura do SAU. No estudo realizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017), utilizado na elaboração do modelo numérico por essa agência, as espessuras definidas foram sempre inferiores às encontradas e descritas por diversos outros autores. Além da diferença dos resultados em função do uso de diferentes métodos geofísicos, deve-se considerar que vários estudos anteriores obtiveram valores de espessura do SAU maiores do que aqueles obtidos no estudo da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017).

Lima (2000) realizou um estudo da bacia do rio do Cachorro, no qual foram executadas 50 sondagens elétricas verticais (SEV) e ensaios de polarização induzida no domínio do tempo (IP) e que permitiram definir uma espessura saturada do SAU variável entre 180 e 400 m. Tschiedel (2004), em estudo relacionado à tectônica na sub-bacia do Urucuia utilizou dados de sondagem eletromagnética no domínio do tempo (TDEM) para levantamento de dois perfis regionais no Oeste Baiano. Os resultados obtidos mostraram espessuras do Grupo Urucuia variando entre 300 e 720 m.

Amorim Júnior (2003) e Amorim Júnior e Lima (2007), utilizando-se das mesmas técnicas geofísicas utilizadas por Lima (2000) na bacia do rio das Fêmeas, encontraram valores de espessura não saturada superiores a 200 m, além de terem observado uma redução da zona saturada, no sentido oeste-leste, de 450 a pouco mais de 100 m. Gaspar (2006), também com base em técnicas geofísicas (TDEM) encontrou espessuras do Grupo Urucuia, também variando no sentido leste – oeste, de 50-100 m até 600 m na porção sul da sub-bacia do Urucuia.

Os arenitos que constituem o Grupo Urucuia são subdivididos em duas unidades areníticas: Formação Posse e Serra das Araras, cuja área de afloramento é mostrada na Figura 7.

A Formação Posse aflora com considerável espessura nas escarpas localizadas na parte oeste da bacia e moderadamente em algumas serras nas proximidades de Barreiras. Consiste em arenitos finos a médios (porosos), bem selecionados e arredondados com presença de finas lâminas claras (argilas/silte) intercaladas.

A Formação Serra das Araras compõe a unidade superior do Grupo Urucuia e aflora em todas as bacias do SAL. Consiste em arenitos médios a grossos, com seleção relativamente boa a moderada e grãos arredondados, por vezes recristalizados (silicificados).

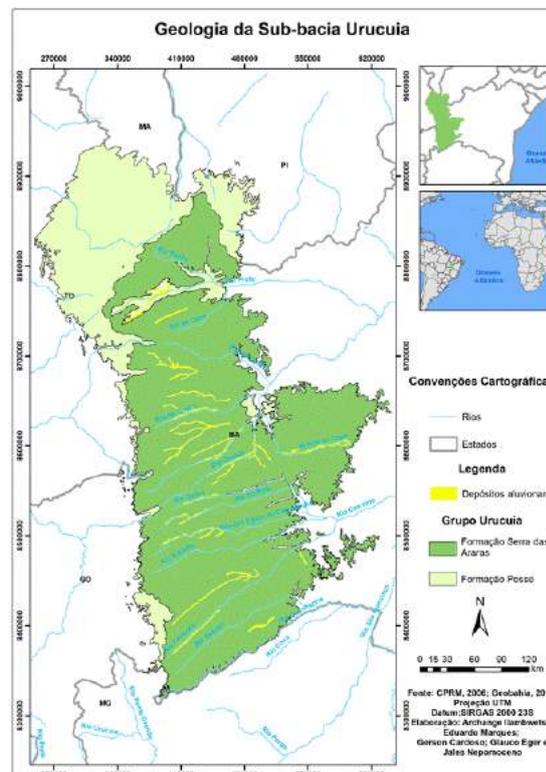


Figura 7. Mapa de localização das unidades constituintes do grupo Urucuia.

A silicificação é notada em várias posições estratigráficas e em níveis tabulares (de até 8 m) extensos e descontínuos. Inicialmente acreditava-se que estes níveis pudessem confinar a porção inferior da Fm. Serra das Araras e a Fm. Posse, mas, em função da sua não continuidade, há apenas porções localmente confinadas.

Como produto final do levantamento dos aspectos geológicos do Sistema Aquífero Urucuia, elaborou-se um modelo geológico 3D, mostrado na Figura 8, no qual é possível observar as principais unidades geológicas que ocorrem na região. Ressalta-se que o contato entre o Grupo Urucuia e o Grupo Bambuí, apresentado na Figura 8, foi inferido, já que não se tem informações precisas sobre o mesmo

Durante o levantamento de campo, foi possível observar as nascentes dos rios e principais afluentes dos rios Preto, das Ondas, de Água Quente, Sapão, Grande e Mosquito. Os rios que fluíam no sentido da bacia do Rio Tocantins têm as suas nascentes na base das escarpas que fazem divisa entre os estados de Tocantins e Bahia e apresentam as mesmas configurações que as nascentes observadas na Bahia, mudando-se apenas o sentido de fluxo e as cotas altimétricas.

21.10 Análise e discussão de parâmetros hidráulicos do SAL: resultados de testes de bombeamento realizados no estudo

Visando o levantamento de parâmetros hidrogeológicos do aquífero Urucuia (transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento) para subsidiar o modelo hidrogeológico numérico, foram executados testes de bombeamento e testes de aquífero em poços distribuídos em diferentes regiões do SAU.

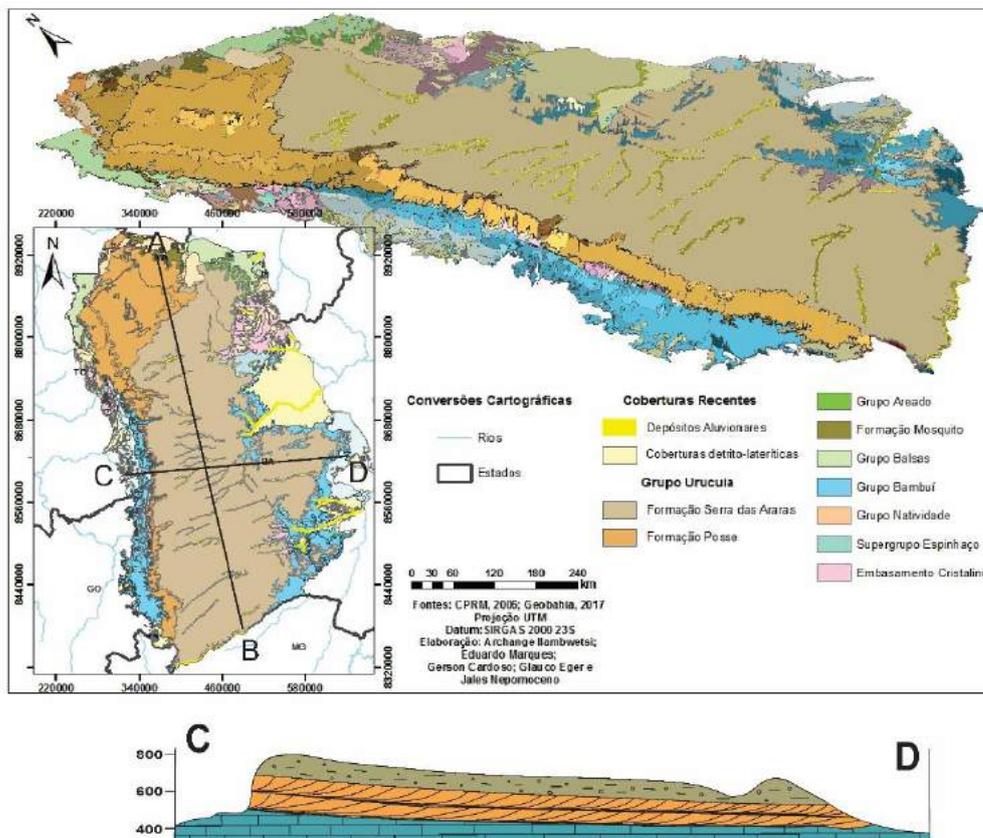


Figura 8. Modelo geológico 3D da bacia Urucuia. Adaptado do Serviço Geológico do Brasil (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2008) e do Sistema Geobahia (BRASIL, 2017).

Para as campanhas de campo foi feita uma seleção de áreas de interesse e de fazendas com potencial para realização dos testes, com base nos seguintes critérios (Tabela 1): (i) Distribuição de pontos de forma mais abrangente possível nas bacias estudadas (Rio Grande, Corrente e Carinhanha); (ii) Fazendas que possuíam poços com vazões mais elevadas ($>100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$); e (iii) Pontos que priorizassem áreas mais carentes de informações.

Durante a campanha de campo alguns empecilhos prejudicaram a realização dos testes, tais como: poços de observação distantes dos poços de bombeamento ($> 300 \text{ m}$ de distância entre poços); poços de observação obstruídos e fatores climáticos. Pelos problemas citados, em apenas 14 pontos distribuídos pela região do estudo foi possível realizar os testes e em apenas 9 foi possível verificar a interferência do bombeamento no piezômetro (Figura 9). A ausência de interferência pode ter sido causada por problemas construtivos ou de manutenção dos piezômetros.

As informações coletadas durante os testes foram processadas nos *softwares* *AQTESOLV* e *AquíferTest* com o objetivo de calcular os parâmetros hidráulicos do aquífero. A seguir serão apresentados os gráficos obtidos com o processamento dos rebaixamentos e os parâmetros hidráulicos obtidos. Os métodos de análise adotados para o processamento foram Hantush e Jacob (1955) para aquíferos confinados drenantes e Neuman (1975) para aquíferos livres.

Os resultados dos testes de bombeamento executados durante as campanhas de campo deste estudo, indicam uma transmissividade da ordem de $10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. A condutividade hidráulica horizontal variou na ordem de 10^{-4} a 10^{-5} m s^{-1} e o coeficiente de armazenamento foi da ordem de 10^{-3} .

Na Tabela 2 são apresentados os valores das propriedades hidráulicas obtidas em cada um dos pontos em que os testes de bombeamento foram executados.

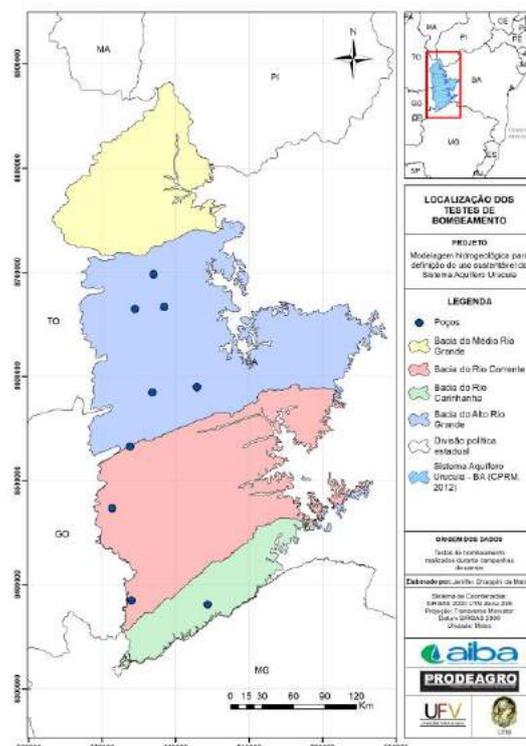


Figura 9. Mapa com a localização dos poços nos quais foram realizados testes de aquífero pela equipe executora do presente estudo até 2018.

Tabela 1. Informações básicas dos testes de bombeamento executados.

Fazenda	Vazão Declarada	Duração do Teste	Interferência
Bombarda	370 m ³ h ⁻¹	7h	Sim
Grato	500 m ³ h ⁻¹	32 h	Sim
Morena	580 m ³ h ⁻¹	11h40	Sim
Ne Florestal	500 m ³ h ⁻¹	08h25	Sim
Perola	250 m ³ h ⁻¹	-	Não
Terra Norte	500 m ³ h ⁻¹	-	Não
Don Laurindo	300 m ³ h ⁻¹	13h	Sim
Santa Colomba	250 m ³ h ⁻¹	3h	Sim
Boa Vista	20 m ³ h ⁻¹	4h	Sim
Xanxerê	500 m ³ h ⁻¹	11h	Sim
Flor	500 m ³ h ⁻¹	11h30	Sim
Agrobasso	500 m ³ h ⁻¹	12h	Sim

Devido à dificuldade de execução de testes de aquíferos com longas durações, dados de transmissividade são geralmente escassos. Buscando minimizar as lacunas de informações, foi realizado um levantamento de dados secundários, disponíveis em artigos, teses e outros trabalhos desenvolvidos na região, além de testes de bombeamentos disponibilizados por produtores. Barbosa (2016) realizou uma compilação de resultados de testes de bombeamento apresentados em outros trabalhos (SANTOS, 2002; SCHUSTER *et al.*, 2002; GASPAR, 2006; POMPEU; RODRIGUES, 2002; CAMPOS *et al.*, 2010) que contribuem para a teoria da existência de trechos com características de semiconfinado/confinado. Este estudo aponta uma variação da transmissividade (T) na ordem de 10⁻² a 10⁻³ m² s⁻¹, condutividade hidráulica (K) da variando de 10⁻⁴ a 10⁻⁶ m s⁻¹ e coeficiente de armazenamento (S) entre 10⁻³ a 10⁻⁵ para o aquífero confinado. Para o aquífero livre os valores de T variaram entre 10⁻² a 10⁻⁵ m² s⁻¹, K de 10⁻⁴ a 10⁻⁷ m s⁻¹ e porosidade efetiva (Sy) da ordem de 10⁻², segundo as informações publicadas. Nas Tabelas 3 a 6, são apresentados os dados obtidos nesta pesquisa bibliográfica.

Tabela 2. Propriedades hidráulicas obtidas nos testes de aquífero realizados no presente estudo.

Ponto	Kx (m s ⁻¹)	Ky (m s ⁻¹)	Kz (m s ⁻¹)	S	T (m ² s ⁻¹)
Dom Laurindo	4,4.10 ⁻⁵	4,4.10 ⁻⁵	4,4.10 ⁻⁶	0,0014	0,012363
Fazenda Santa Colomba	2,4.10 ⁻⁵	2,4.10 ⁻⁵	2,4.10 ⁻⁶	0,00036	0,006821
Fazenda Bombarda	1,2.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻⁶	4,57.10 ⁻³	0,037118
Fazenda Morena	9,7.10 ⁻⁵	9,7.10 ⁻⁵	9,7.10 ⁻⁶	-	0,025
Fazenda Grato	1,8.10 ⁻⁴	1,8.10 ⁻⁴	1,8.10 ⁻⁵	-	0,0385
Fazenda NE Florestal	1,20.10 ⁻⁴	1,20.10 ⁻⁴	0,000012	0,0031	0,031
Agrobasso	0,00012	0,00012	0,000012	0,0071	0,03408
Faz, Flor	3,8.10 ⁻⁴	3,8.10 ⁻⁴	3,8.10 ⁻⁵	0,011	0,092
Fazenda Xanxerê	~1,0.10 ⁻⁴	~1,0.10 ⁻⁴	~1,0.10 ⁻⁵	-	-

Tabela 3. Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Posse, com base em dados coletados por Schuster (2002), Nascimento (2003) e Rodrigues *et al.* (2009).

Poço	T (m ² /dia)	K (m ² /h)	Ss	Sy	Método	Sub-bacia
Campo Aberto O _{1A}	1391	-	3,1 x 10 ⁻⁴	-	Hantush	Rio de Janeiro
Campo Aberto O ₄	1794	-	5,4 x 10 ⁻⁴	-	Hantush	Rio de Janeiro
Fazenda Poletto Iris Basso	1973 2956	0,303 0,439	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1397	0,360	2,6 x 10 ⁻⁴	-	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1728	0,468	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1411	0,390	1,5 x 10 ⁻⁴	-	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1137	0,316	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Faz. Campinas P250 O	1321	0,243	7,5 x 10 ⁻⁴	-	Neuman	Rio das Fêmeas
P B	1542	0,284	-	-	Jacob	Fêmeas
P90 O	1467	0,247	3,0 x 10 ⁻⁴	1,25 x 10 ⁻²	Neuman	
Faz. Santo Antônio	1506	1,580	5,9 x 10 ⁻⁴	1,43 x 10 ⁻²	Neuman	Rio das Fêmeas

B: bombeado. O: observado.

Tabela 4. Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Serra das Araras, com base em dados coletados por Rodrigues *et al.* (2009).

Poço	T (m ² /dia)	K (m s ⁻¹)*	Ss	Sy	Método	Sub-bacia
Roda Velha de Baixo	348	K _h = 5 x 10 ⁻⁵ K _v = 8 x 10 ⁻⁵	9,1 x 10 ⁻⁴	4,7 x 10 ⁻²	Neuman	Rio das Fêmeas

Para uma espessura de aproximadamente 80 m.

Gaspar e Campos (2007) e Schuster *et al.* (2002) observaram poços com características de confinamento e semiconfinamento na região do Urucuia. Estas ocorrências são descritas como comuns na região de Luís Eduardo Magalhães (BA), nas bacias dos rios Grande e Arrojado, e no município de Formosa do Rio Preto. Na Figura 10 apresenta-se a localização do poço utilizado no teste acima e compara-se com as áreas delimitadas por Gaspar e Campos (2007). É possível fazer uma correlação da localização do poço com a área delimitada pelos autores citados na região do Rio das Éguas.

Outra forma de maximizar o volume de dados de transmissividade é o seu cálculo empírico a partir da capacidade específica, parâmetro mais simples de ser adquirido e geralmente mais abundante (MACE, 1997; GALOFRÉ, 1966). Esta metodologia foi aplicada em aproximadamente 380 poços obtidos do SIAGAS que possuíam as variáveis necessárias para o cálculo do parâmetro hidráulico.

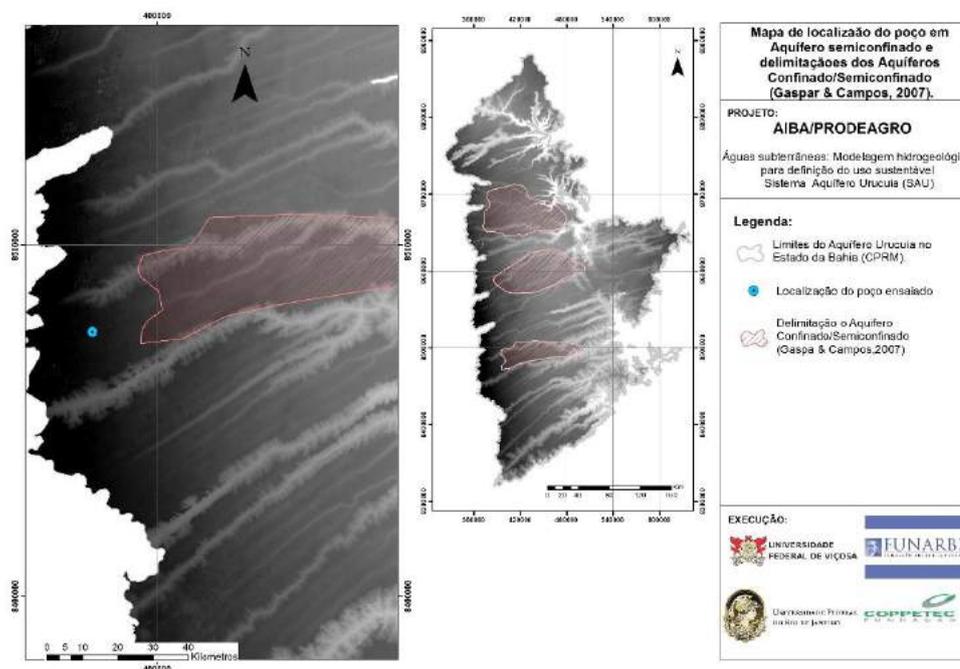
Os resultados indicaram uma variação da transmissividade entre 10⁻² a 10⁻⁵ m² s⁻¹ e da condutividade hidráulica entre 10⁻⁴ a 10⁻⁶ m s⁻¹, apresentando similaridade com os resultados obtidos nos estudos anteriores no SAU.

Tabela 5. Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero semiconfinado do SAU, com base em dados coletados por Gaspar (2006).

Poço	T (m ² s ⁻¹)	K (m s ⁻¹)*	S (-)	Método	Sub-bacia
Poço No. 1 Faz. Mal. Rondon	3,23 x 10 ⁻³	8,08 x 10 ⁻⁶	1,48 x 10 ⁻⁴	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 2 Faz. Espírito Santo	3,00 x 10 ⁻³	7,49 x 10 ⁻⁶	1,17 x 10 ⁻⁴	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 3 Faz. Hirata	2,59 x 10 ⁻³	7,39 x 10 ⁻⁶	1,01 x 10 ⁻⁴	Theis	Rio das Fêmeas
Poço Sede No. 2 LEM	4,69 x 10 ⁻³	9,38 x 10 ⁻⁶	1,87 x 10 ⁻⁴	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 1 Faz. Mal. Rondon	6,46 x 10 ⁻⁵	2,59 x 10 ⁻²	-	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob
Poço No. 2 Faz. Espírito Santo	6,49 x 10 ⁻⁵	2,59 x 10 ⁻²	-	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob
Poço No. 3 Faz. Hirata	2,55 x 10 ⁻⁵	8,91 x 10 ⁻³	-	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob
Poço Sede No. 2 LEM	3,89 x 10 ⁻⁵	1,95 x 10 ⁻²	-	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob

Tabela 6. Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero livre, obtidos por Gaspar (2006).

Poço	T (m ² dia ⁻¹)	K (m s ⁻¹)	Método	Sub-bacia
Poço CERB No. 2	124,42	3,92 x 10 ⁻⁶	Neuman	Correntina

**Figura 10. Mapa de localização do poço com características de aquífero semiconfinado correlacionável com as áreas propostas por Gaspar e Campos (2007).**

21.11 Modelo hidrogeológico numérico

De maneira a exemplificar os modelos hidrogeológicos numéricos construídos para todos as sub-bacias apresenta-se, a seguir, o modelo numérico da sub-bacia do Alto Rio Grande.

A bacia do alto Grande, caracterizada como a porção sul da bacia homônima no SAU, é representada principalmente pelos rios Branco, Rio de Janeiro, Ondas e Fêmeas, além do rio Grande. Esta bacia ocupa uma área de aproximadamente 33.208 km², e sobre ela está inserida a região de maior desenvolvimento urbano e agrícola do oeste baiano, os municípios de Barreiras, São Desidério e Luís Eduardo Magalhães.

Para esta região foi elaborada uma simulação de fluxo em regime estacionário, em malha de diferenças finitas com células de dimensões de 1668m (em X) e 1335m (em Y), com 3 camadas. As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e no fundo do modelo (Condição 2), assumindo que o SAU não possui conectividade com as formações inferiores. Os rios foram caracterizados pelo contorno RIVER do MODFLOW. As condutividades hidráulicas nesta região variaram na ordem de 10⁻⁴ m s⁻¹ a 10⁻⁷ m s⁻¹ nas camadas 1 e 2, enquanto na camada 3 a condutividade variou na ordem de 10⁻³ m s⁻¹ a 10⁻⁴ m s⁻¹ (Figura 11). O nível potenciométrico calculado na simulação de fluxo variou de 892 m a aproximadamente 524 m (Figura 12).

Para a bacia do Alto Grande, com o balanço hídrico calculado a partir das simulações de fluxo em estado estacionário, obtiveram-se valores saídas totais de aproximadamente 26,3 milhões de m³ dia⁻¹ (Figura 13). Grande parte das descargas, aproximadamente 98% do volume de fluxo segundo as simulações, foram para os rios. Para efeito de avaliação, estas vazões foram comparadas aos valores de fluxo de base calculados por Gonçalves *et al.* (2018), com base nas estações fluviométricas dos rios que compõem a bacia localizadas na saída da chapada do SAU. Esse volume foi de aproximadamente 15,52 milhões de m³ dia⁻¹ de descarga. Identificou-se, portanto, uma discrepância na descarga entre os dois cálculos.

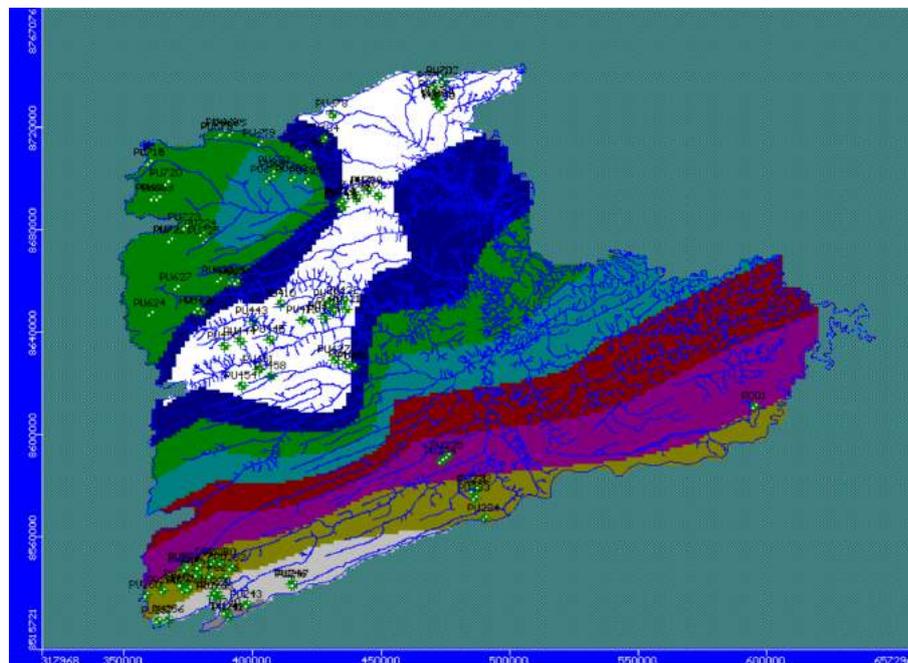


Figura 11. Distribuição da condutividade hidráulica na bacia do alto rio Grande. As tonalidades indicam a faixa de variação do parâmetro na camada superior do modelo (camada 1), entre 10⁻³ m s⁻¹ a 10⁻⁷ m s⁻¹.

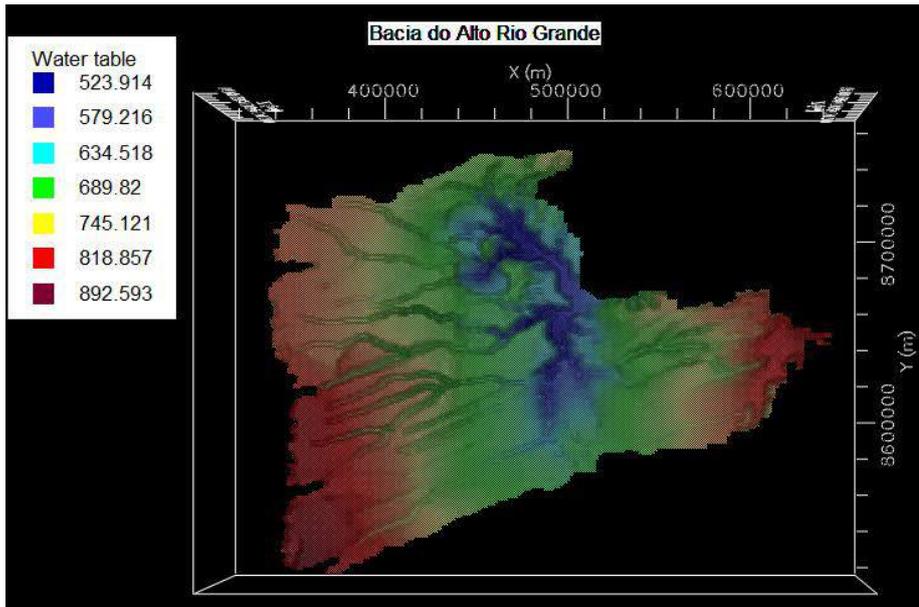


Figura 12. Mapa 3D com a representação da superfície potenciométrica da Bacia do Alto Grande (legenda com a carga hidráulica - cota do nível piezométrico do aquífero - em m).

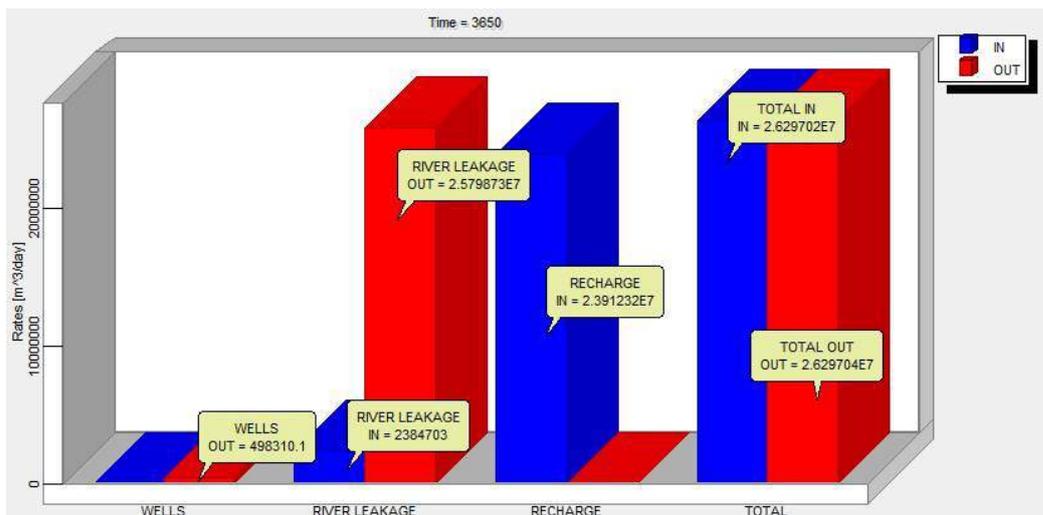


Figura 13. Gráfico do balanço hídrico da simulação hidrogeológica da Bacia do Alto rio Grande.

A calibração das simulações do estado estacionário para a bacia alto Grande foi realizada com base nos níveis estacionários dos poços disponíveis nos bancos de dados públicos. O erro médio residual (RMS) obtido para esta simulação foi de 8,04%, melhor resultado, portanto, que no Médio Grande. Isso se deve à maior quantidade e qualidade de dados existentes nessa bacia (Figura 13).

21.12 Avaliação dos resultados

A Figura 14 ilustra a calibração da simulação da bacia do Alto rio Grande.

As simulações em estado estacionário indicaram que os aquíferos têm uma grande capacidade de armazenamento e de circulação de água subterrânea, constituindo em todas as bacias corpos hídricos relativamente homogêneos em seu comportamento hidráulico, com uma tendência a uma diminuição da transmissividade em direção leste. O processo de calibração resultou em discrepâncias aceitáveis entre os valores simulados e medidos em todas as bacias, considerando a escassez de dados e a natureza do SAU.

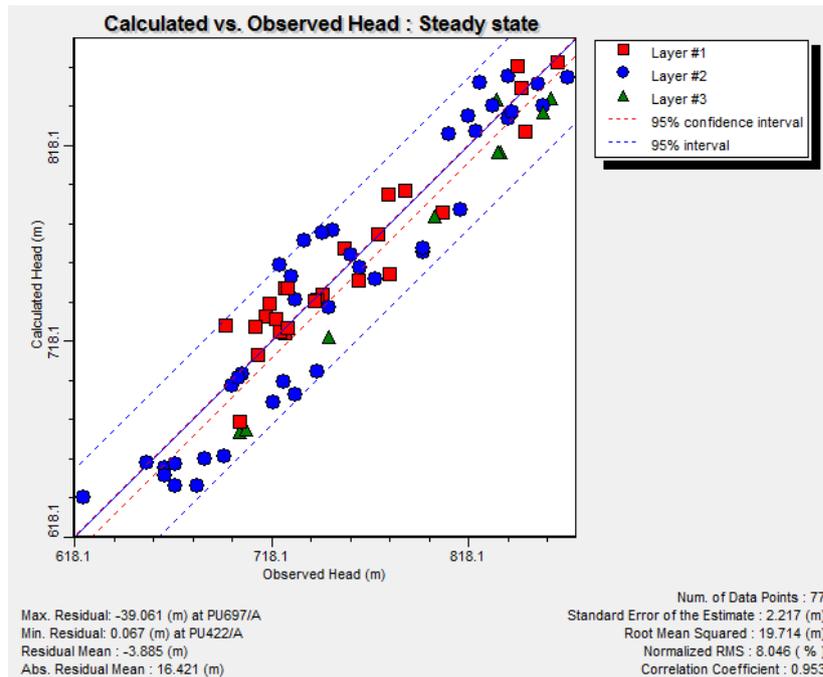


Figura 14. Gráfico de calibração da simulação da bacia do Alto rio Grande (carga hidráulica calculada vs. observada).

De um modo geral os volumes presentemente explotados são ainda uma fração menor com respeito ao potencial do aquífero (Tabela 7). Não obstante, a incerteza quanto aos dados utilizados, tanto em função das vazões bombeadas, quanto em relação à presença de eventuais poços irregulares não cadastrados e também quanto à geometria e parâmetros hidráulicos obtidos sugere cautela quanto a expansão das extrações do SAU.

Tabela 7. Comparação dos volumes explotados por poços e a recarga do aquífero em cada uma das bacias.

Bacia	Volume de recarga (m ³ dia ⁻¹)	Volume de bombeamento em poços (m ³ dia ⁻¹)	Percentual consumido
Médio Rio Grande	8.141.896	5.037,7	0,06%
Alto Rio Grande	23.912.320	498.310,1	2%
Rio Corrente	15.540.460	350.025	2%
Rio Carinhonha	4.917.058	46.142	0.93%

21.13 Considerações finais

O Sistema Aquífero Urucuia constitui um dos maiores e mais relevantes sistemas aquíferos do país em área, volumes armazenados e renováveis disponíveis e em potencial econômico. Permanece ainda com lacunas importantes no conhecimento de seu potencial hídrico e de seu funcionamento. Esse sistema tem importância fundamental na manutenção do fluxo de base do rio São Francisco e está sujeito a variações climáticas presentes e futuras, sendo crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais do uso de seus recursos sobre o meio ambiente em geral. Desse modo, construiu-se um modelo numérico para a simulação

do fluxo no Sistema. Essa construção representou um grande desafio, pela escassez de dados e complexidade inerente a um sistema dessa magnitude, cujos próprios limites físicos ainda são motivo de debate e questionamentos, em especial em relação à sua espessura. Desse modo, recomenda-se prudência no uso dos resultados do modelo em ações de gestão, previsões de uso futuro e planejamento agrícola.

A elaboração do modelo conceitual baseou-se na confecção de um banco de dados que expôs as deficiências de dados sobre águas subterrâneas, em que pese relevantes esforços recentes dos órgãos gestores e governamentais (principalmente da Agência Nacional de Águas (ANA/MMA), do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e, no estado da Bahia, do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA). A distribuição dos pontos de água é relativamente regular, exceto na bacia do Carinhanha e no Médio Grande. O estabelecimento da espessura do SAU e de suas subunidades, contudo, foi muito mais difícil de definir, embora haja o alento de algumas informações novas que permitiram melhorar o modelo conceitual do Sistema em futuro próximo. Os resultados de ensaios, testes e consultas bibliográficas resultaram em variação da transmissividade (T) de 10^{-2} a 10^{-5} m²/s e da condutividade hidráulica (K) entre 10^{-4} a 10^{-6} m s⁻¹, apresentando similaridade com os resultados obtidos nos estudos anteriores no SAU.

Os dados hidroquímicos obtidos para o SAU na Bahia indicam que suas águas são pouco mineralizadas, com leve predomínio de águas bicarbonatadas sódicas e cálcicas, mas em geral com caráter geoquímico de natureza mistas. A mineralização cresce para leste podendo indicar influência do Grupo Bambuí e do embasamento cristalino subjacentes.

As simulações numéricas foram elaboradas separadamente para cada bacia, para facilitar o uso futuro, sempre com três camadas e um *grid* variando entre 200 e 400 colunas x 200 a 400 linhas, conforme a bacia. As células apresentaram dimensões variando, aproximadamente, entre 900 m e 1600 m de aresta, com células retangulares.

Atribuíram-se os limites do modelo com condições de contorno, condições iniciais e parâmetros de entrada e diversos *stresses* incorporadas - caso das simulações transientes - no *design* do modelo com base nos dados disponíveis e no modelo conceitual. As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e na base do modelo, assumindo-se a premissa de que o SAU não possui conectividade com as formações inferiores. Os rios foram caracterizados pela condição de contorno 'RIVER' do MODFLOW. Aos limites externos do SAU foram atribuídos contornos *no-flow*, exceto na bacia do Corrente, onde houve uma condição de contorno DRAIN em um pequeno trecho.

Elaborou-se inicialmente um modelo no estado estacionário (com anos-base 2008-2017), que foi calibrado e serviu como base ao modelo no estado transiente, mas somente nas bacias do Alto Grande e Corrente, onde havia dados disponíveis. O intervalo de calibração temporal foi limitado, desde 2011 a 2018 na bacia do alto Grande e de 2015 a 2017 na bacia do rio Carinhanha. Os erros RMS na distribuição dos níveis piezométricos chegam a 6,5 m em média, correspondendo a 6 a 10% na comparação do valor simulado vs. medido, o que foi considerado satisfatório, considerando o cenário de escassez de dados e incertezas prevalente. Como resultado da calibração considerou-se a recarga média da ordem de 17% da chuva, coeficiente de armazenamento de 0,15 a 0,20 e coeficiente de armazenamento específico variando de 10^{-2} a 10^{-5} .

Em condições de estado estacionário, 98% da recarga flui e é descarregada através dos rios, que chegam, segundo dados do estudo de águas superficiais, a ter 90 a 100% de seu fluxo alimentado pelo SAU. O bombeamento não chega nem a 2% do total da recarga. O fluxo subterrâneo a outras unidades, principalmente o Grupo Bambuí subjacente e a leste compõem o restante do destino da recarga.

As simulações do estado transitório tiveram resultados limitados devido ao pequeno tempo de dados reais disponíveis para a calibração e também à inexistência de dados em duas das bacias estudadas. Não obstante, foi possível reproduzir as flutuações históricas do nível da água com o modelo de modo bastante satisfatório. Na maioria das partes do SAU houve um decréscimo do nível piezométrico do aquífero, por vezes acentuado. Isso foi coerente com a intensa seca que ocorreu no oeste da Bahia entre 2014 e 2017. Há indicações de que essa tendência tem se modificado com os últimos registros, possivelmente inclusive pode haver uma reversão desse descenso.

Quanto à capacidade do modelo de realmente simular com fidelidade a potenciometria e fluxo do aquífero deve-se salientar neste ponto as limitações inerentes a este tipo de exercício numérico, bem como certas suposições iniciais que podem não representar a realidade física. Algumas suposições simplificadoras no modelo conceitual e na escala de aplicação foram: (i) a base do aquífero foi definida como um limite impermeável, embora dados apontem para um papel hidraulicamente ativo do Bambuí subjacente ao aquífero em algumas zonas; (ii) o estabelecimento de contorno impermeáveis no contorno das escarpas do SAU, particularmente na face oeste, embora haja fontes ativas (poucas) ao longo desse limite; (iii) valores de transmissividade e armazenamento considerados constantes ao longo do perfil vertical em cada camada, sem ter em conta os aquíferos silicificados aí presentes. Desse modo atual modelo para simulações de suporte à gestão deve ser limitado a escala regional, com detalhes locais a ser objeto de modelos e simulações complementares.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada**: volume 1 - diagnóstico do meio físico da região de abrangência dos Sistemas Aquíferos Urucuia e Areado: tomo I – caracterização do meio físico, do uso e ocupação da terra, levantamento hidrogeológico e investigações geofísicas: Relatório Final, Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Consórcio Engecorps - Walm. Brasília, ANA, 138p., 2017.
- AMORIM JUNIOR, V. **Avaliação Hidrogeológica do aquíferos Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP-Resistividade**. 82p., 2003. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.
- AMORIM JÚNIOR, V.; LIMA, O.A.L. Avaliação hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando resistividade e polarização elétrica induzida. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.25, 2, p.117-129, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2007000200002>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- BARBOSA, N.S. **Hidrogeologia do Sistema Aquífero Urucuia**. 168p., 2016. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2016.
- BARBOSA, N.S.; LEAL, L.R.B.; SANTOS, R.L.S.; MELLO, J.C. Caracterização Hidro-Litoestratigráfica do Sistema Aquífero Urucuia com base em Perfis Geofísicos de Poços. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Belo Horizonte. **Resumos expandidos**, p.18, 2014.
- BONFIM, L.F.C.; GOMES, R.A.A.D. Aquífero Urucuia - Geometria e Espessura: Ideias para Discussão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XX, Cuiabá. **Anais**. 1 CD - Rom, 8p., 2004.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. **Software público brasileiro. Geobahia 3.0**. 2017. Disponível em: <https://softwarepublico.gov.br/social/i3geo/blog/geobahia-3.0>. Acesso em: 15 mai. 2020.
- CAMPOS, J.C.V.; BRIZ, E.M.; LUZ, J.A.G. Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia - Fazenda Bombarda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XVI, São Luís. **Anais**. p.1-17, 2010.

- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. Distribuição, estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Urucuia - Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. **Geociências**, São Paulo, v.18, n.2, p.481-499, 1999.
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. Origem e evolução tectônica da bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v.27, n.3, p.269-282, 1997.
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v.27, n.3, p.283-294, 1997a.
- CAMPOS, J.C.V; OLIVEIRA, L.T.; DA LUZ, L.D.; LELA, L.R.B.; DA LUZ, J.A.G.; LIMA, O.A.L. Avaliação da recarga do aquífero Urucuia na região de Jaborandi – oeste da Bahia. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo. **Anais**. 8p, 2006.
- DOMINGUES, A.J. Contribuição à geologia da região centro-ocidental da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia**, p.57-82, 1947.
- ENGELBRECHT, B.Z.; CHANG, H.K. Simulação numérica do fluxo de águas do sistema aquífero Urucuia na bacia hidrogeológica do Rio Corrente. **Águas Subterrâneas**, v.29, n.2, p.244-256, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.28435>. Acesso em: 2 Out. 2020.
- GALOFRÉ, A. **Cálculo de la transmisividad a partir de descensos específicos. Estudio de los Recursos Hidraulicos Totales de las Cuencas de los Rios Besós y Bajo Llobregat**. Comisaría de Águas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. In: Custódio e Llamas. Barcelona, p.69-73, 1966.
- GASPAR, M.T.P.; CAMPOS, J.E.G.; MORAES, R.A.V. Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia a partir de estudo geofísico. **Revista Brasileira de Geociências**, v.42 (Suppl. 1), p.154-166, 2012. Disponível em: <https://10.5327/Z0375-75362012000500013>. Acesso em: 13 out. 2020.
- GASPAR, M.T.P.; CAMPOS, J.E.G. O sistema aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.4, p.216-226, 2007. Disponível em: <https://10.25249/0375-7536.200737S4216226>. Acesso em: 12 out. 2020.
- GASPAR, M.T.P. **Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão**. 158 p.2006. Tese (Doutorado) - IG-UnB. Brasília, 2006.
- GONÇALVES, R.D.; CHANG, H.K. Modelo Hidrogeológico do Sistema Aquífero Urucuia na Bacia do Rio Grande (BA). **Geociências**, v.36, n.2, p.205-220, 2017.
- GONÇALVES, R.D.; ENGELBRECHT, B.Z.; CHANG, H.K. Evolução da contribuição do Sistema Aquífero Urucuia para o Rio São Francisco, Brasil. **Águas Subterrâneas**. V.32, p.1-10, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i1.28916>. Acesso em: 18 set. 2020.
- GONÇALVES, R.D.; STOLLBERG, R.; WEISS, H.; CHANG, H.K. Using Grace to quantify the depletion of terrestrial water storage in Northeastern Brazil: the Urucuia Aquifer System. **Science of the Total Environment**, v.705, p.135845, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135845>. Acesso em: 18 out. 2020.
- KIANG, C.H.; SILVA, F.P. Contribuição ao Arcabouço Geológico do Sistema Aquífero Urucuia. **Geociências**, v.34, p.872-882, 2015.
- LIMA, O.A.L. **Estudos geológicos e geofísicos do aquífero Urucuia na Bacia do Rio Cachorro- Oeste do Estado da Bahia**. Relatório técnico. Superintendência de Recursos Hídricos-SRH/ Centro de Pesquisas em Geofísica e Geologia- CPGG/UFBA. 42 p., 2000.
- MACE, R.E. Determination of transmissivity from specific capacity tests in a karst aquifer. **Ground Water**, v.35 n.5, p.738-742, 1997.
- MARQUES, E.A.G.; SILVA JÚNIOR, G.C.; EGER, G.Z.S.; ILLAMBWETSI, A.M.; POUSA, R.; GENEROSO, T.N.; OLIVEIRA, J.; NEPOMUCENO JÚNIOR, J. Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande watershed, Northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** v.103, p.1-15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102723>. Acesso em: 18 out. 2020.

- MOURÃO, M.A.A.; PEIXINHO, F.C. A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil: Desafios e Estágio Atual de Implantação. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Bonito. **Anais**. p.12-20, 2012.
- NASCIMENTO, K.R.F.; LIMA, O.A.L. Cálculo de parâmetros hidráulicos do Aquífero Urucuia utilizando dados geoeletricos. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, Rio de Janeiro. **Anais**. 13p., 2013.
- NASCIMENTO, K.R.F. (Coord.). **Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das Fêmeas- Bahia**. Relatório Final. ANA/ GEF/PNUMA/OEA, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH), Salvador, 208p., 2003.
- POMPEU J.; RODRIGUES Z.R.C. Estudo Hidrogeológico da bacia do Rio das Fêmeas. In: SIMPÓSIO DE ÁGUA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO OESTE BAIANO, Barreiras-BA. **Anais do Simpósio**, CD-ROM. 2002.
- REGO, M.L.F. **Reconhecimento geológico da parte ocidental do estado da Bahia. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**. Boletim 17, p.33-54, 1926.
- RODRIGUES, Z.R.C.; MAIA, P.H.P.; LIMA, C.E.S.; ARAÚJO, V.M.; CRUZ, L.V.M. Hidrodinâmica do sistema aquífero Urucuia e seu rebatimento para a gestão da água na região Oeste do Estado da Bahia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, São Paulo. **Anais**. p.1-14, 2009.
- SANTOS, C.B.; SILVA, C.N.; VILLA, P.C.C.M.; ROCHA, B.S.S. Utilização de *Data loggers* no Projeto RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas) no Oeste da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Bonito. **Anais**. p.1-4, 2012.
- SANTOS, J.P. **Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Urucuia**. Relatório Final. ANA/GEF/PNUMA/OEA, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). Salvador, BA, 75p., 2002.
- SCHUSTER, H.D.M. **Modelagem de fluxo subterrâneo com vistas à definição de parâmetros para outorga de mananciais subterrâneos na bacia hidrográfica do Rio de Cachorro Oeste do estado da Bahia**. Relatório Final. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 113p., 2003.
- SCHUSTER, H.D.M.; SILVA, F.F.; TEIXEIRA, S.L.; BATISTA, L.H.G.; FREITAS, W.A. Estudos hidrogeológicos do aquífero Urucuia no Oeste baiano para obtenção de parâmetros nas outorgas de mananciais subterrâneos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Florianópolis. **Anais**. XII CBAS, 15p., 2002.
- SCHUSTER, H.D.M. Relatório Parcial 2, Contrato 00022/2001- SRH/GRH/BIRD, 17 p., 2002.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Universidade Federal da Bahia. **Hidrogeologia do aquífero Urucuia - Bacias dos Rios Arrojado e Formoso**. Salvador: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2008. 1CD Rom. Escala 1:100.000. Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.
- SILVA, C.N.; VILLAR, P.C.C.M.; SANTOS, C.B.; SANTOS, A.A. Utilização do Siagas como Ferramenta para Gestão dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Urucuia - Oeste da Bahia na Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas RIMAS / SGB-CPRM, In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, São Paulo. **Anais**. ABAS, p.4-7, 2013.
- SILVA, M.E. **O Sistema de Dobramentos Rio Preto e suas Relações com o Cráton do São Francisco**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- TSCHIEDEL, M.W. **Aplicação de Estudo Geofísico como Contribuição ao Conhecimento da Tectônica da Sub- Bacia Urucuia**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2004.
- VILLAR, P.C.C.M.; SILVA, C.N.; SANTOS, C.B. Monitoramento Das Águas Subterrâneas (RIMAS)/SGB - CPRM: Sistema Aquífero Urucuia - oeste do estado da Bahia, In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Bonito. **Anais**. ABAS, p.1-4, 2012.

VILLAR, P.C.C.M.; SILVA, C.N.; SANTOS, C.B. Implantação da rede de monitoramento das águas subterrâneas RIMAS/SGB - CPRM: Sistema Aquífero Urucuia - oeste do estado da Bahia. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, São Paulo. **Anais**, ABAS CBAS 3, p.1-4, 2013.

CAPÍTULO 22

22 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA IRRIGADA

Demetrius David da Silva e Michel Castro Moreira

Resumo

A gestão de recursos hídricos visa assegurar o direito de acesso à água aos seus múltiplos usuários, buscando seu uso racional, de modo que a disponibilidade hídrica não seja obstáculo para o desenvolvimento socioeconômico das gerações atual e futura. Uma efetiva gestão de recursos hídricos requer o conhecimento da disponibilidade hídrica e das demandas hídricas da bacia, bem como a adoção de um adequado programa de gestão e planejamento, em consonância com as legislações vigentes no país. Dos setores usuários de recursos hídricos, a agricultura irrigada merece destaque, uma vez que é o setor que mais consome água no país e no mundo. Apesar de toda a riqueza gerada, a irrigação enfrenta desafios constantes no país, de modo que o adequado gerenciamento de recursos hídricos, principalmente no que se refere aos instrumentos de outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e da cobrança pelo uso de recursos hídricos, é imprescindível para a expansão da agricultura irrigada no país. É necessário, no entanto, reconhecer que a irrigação apresenta expressivo impacto em termos da disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, já tendo contribuído, em várias regiões do país, com o surgimento de conflitos pelo uso da água. Deste modo, fica evidente a importância estratégica de se focar no desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, sempre levando em conta a disponibilidade hídrica nas distintas bacias hidrográficas e a compatibilização das demandas com os demais setores usuários de água, de modo a permitir o aumento das áreas irrigadas e minimizar a possibilidade de ocorrência de novos conflitos pelo uso da água no país.

22.1 Introdução

Recurso de valor inestimável, a água apresenta utilidades múltiplas como abastecimentos doméstico e industrial, dessedentação de animais, irrigação, geração de energia elétrica, navegação, recreação, paisagismo, turismo, aquicultura, piscicultura, preservação da biota aquática, melhorias climáticas e, até mesmo, para a assimilação e condução de efluentes (BERNARDO *et al.*, 2019).

O termo água refere-se ao elemento natural, desvinculado de qualquer uso, no entanto, em razão dos diversos usos múltiplos, que na maioria das vezes são concorrentes, a água passa a estar associada a um bem econômico, que possui valoração financeira, sendo, portanto, tratada como um recurso hídrico. Assim, quando há abundância de água, ela normalmente é considerada como um bem livre, sem valor econômico, mas com o crescimento da demanda a água passa a ser escassa, precisando, então, ser gerida como um bem econômico.

A gestão de recursos hídricos visa assegurar o direito de acesso à água aos seus múltiplos usuários, buscando seu uso racional, de modo que a disponibilidade hídrica não seja obstáculo para o desenvolvimento socioeconômico das gerações atual e futura. Para tanto, na gestão de recursos hídricos é imperativo o conhecimento da disponibilidade e das demandas

hídricas dos múltiplos usuários, bem como a adoção de um adequado programa de gestão de recursos hídricos, em consonância com as legislações vigentes no país.

Importante ressaltar que na gestão de recursos hídricos o setor de agricultura irrigada merece destaque. Não obstante aos benefícios agrícolas da irrigação e a geração de riquezas a ela associada, a agricultura irrigada é o maior usuário de água no país, sendo o Brasil um dos países com maior potencial de crescimento na agricultura irrigada no mundo.

Com o crescimento da irrigação é de se esperar que se ampliem e surjam novos conflitos pelo uso da água, tornando evidente a importância de uma adequada gestão de recursos hídricos. Neste sentido, os instrumentos de gestão de recursos hídricos instituídos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), como a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso de recursos hídricos são importantes ferramentas para o controle do uso da água e o incentivo para o seu uso racional.

Dada a importância da agricultura irrigada para o país, além de políticas para o gerenciamento de recursos hídricos, o setor demanda de políticas próprias que busquem incentivar a ampliação da irrigação, induzindo dessa forma o desenvolvimento regional e o aumento da oferta de alimentos. A instituição da Política Nacional de Irrigação (BRASIL, 2013) foi um importante marco para a agricultura irrigada no país, pois, ao mesmo tempo em que cria instrumentos para o incentivo da irrigação, tem como princípio o uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos.

Apesar de no país existir todo um arcabouço legal que trate da gestão de recursos hídricos e da irrigação, é importante considerar que a água é um recurso escasso e finito, indispensável à vida, devendo os setores usuários e a sociedade discutirem e planejarem sobre o seu uso múltiplo e racional, uma vez que o desenvolvimento atual e a sobrevivência das gerações futuras dependem diretamente das decisões que hoje estão sendo tomadas.

22.2 Disponibilidade hídrica superficial no Brasil

Para fins de quantificação da disponibilidade hídrica superficial são utilizadas a vazão média de longa duração, que é a vazão obtida a partir da média das vazões diárias de um longo período de dados, normalmente de pelo menos 30 anos, e as vazões mínimas ou vazões de estiagem, que são avaliadas em função de sua magnitude, duração e frequência de ocorrência.

A vazão média de longa duração (Q_m) é, teoricamente, a máxima vazão possível de ser regularizada quando se desconsideram as perdas por evaporação do lago e por percolação, ou seja, seria a máxima vazão possível de ser captada do reservatório, ao longo de todo o ano, para os diversos usos múltiplos, dentre os quais a irrigação. Na prática, entretanto, como as mencionadas perdas existem e são expressivas, é usual se construir reservatórios para regularizar apenas uma percentagem da vazão média de longa duração da bacia.

Por sua vez, para a representação da disponibilidade hídrica nos períodos de estiagem, dentre as vazões mínimas, normalmente se trabalha com a vazão mínima média de sete dias consecutivos, associada a um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e as vazões associadas à curva de permanência no tempo, sendo mais utilizadas as vazões com 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) de permanência.

Visando se ter uma visão mais detalhada da disponibilidade hídrica e, também, da demanda hídrica associada à agricultura irrigada nas diferentes regiões hidrográficas brasileiras, tem-se na Tabela 1 a vazão específica média de longa duração (Q_m) e a vazão específica mínima associada à permanência de 95% no tempo (Q_{95}), obtidas pela divisão dos valores de vazão pela área de drenagem das respectivas regiões hidrográficas, assim como os

valores representativos da relação entre a vazão total de retirada pela irrigação (Q_{ri}) comparativamente a Q_{mld} e a Q_{95} .

Tabela 1. Vazões específicas média de longa duração (Q_m) e mínima associada à permanência de 95% no tempo (Q_{95}) e relação entre a vazão total de retirada pela irrigação (Q_{ri}) comparativamente a Q_{mld} e a Q_{95} (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2013).

Regiões hidrográficas	Q_m ($L\ s^{-1}\ km^{-2}$)	Relação Q_{ri}/Q_m	Q_{95} ($L\ s^{-1}\ km^{-2}$)	Relação Q_{ri}/Q_{95}
Amazônica	34,15	0,0001	19,06	0,0002
Tocantins-Araguaia	14,97	0,0061	5,91	0,0155
Atlântico Nordeste Ocidental	9,51	0,0014	1,17	0,0113
Parnaíba	2,30	0,0488	1,14	0,0987
Atlântico Nordeste Oriental	2,70	0,2081	0,32	1,7703
São Francisco	4,46	0,0751	2,95	0,1133
Atlântico Leste	3,82	0,0355	0,79	0,1728
Atlântico Sudeste	14,76	0,0181	5,33	0,0501
Atlântico Sul	21,62	0,0484	3,45	0,3031
Paraná	13,45	0,0263	6,77	0,0523
Uruguai	23,51	0,0309	3,24	0,2246
Paraguai	6,49	0,0041	2,15	0,0124
Brasil	21,09	0,0071	10,70	0,0139

A vazão específica (vazão por unidade de área) é um índice muito usado no Brasil por permitir uma avaliação expedita da potencialidade hídrica da região. Analisando-se os dados da Tabela 1, verifica-se que as regiões hidrográficas brasileiras com maiores vazões específicas média de longa duração (Q_m) e mínima associada à permanência de 95% (Q_{95}), ou seja, com maior potencialidade hídrica, são: Amazônica, Uruguai, Atlântico Sul, Tocantins-Araguaia, Atlântico Sudeste e Paraná. Destaca-se, ainda, que estes maiores valores de vazão específica estão geralmente associados às regiões com maiores valores de precipitações anuais, pois a precipitação é a principal forma de entrada de água no sistema hídrico e responsável pelo regime de variação de vazão dos cursos de água.

Comparando-se na Tabela 1 a disponibilidade com a demanda hídrica associada à irrigação, verifica-se que a situação mais crítica ocorre na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, onde as vazões de retirada pela irrigação, segundo ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2013), já correspondem a 177% da Q_{95} e a, aproximadamente, 21% da Q_{mld} , caracterizando uma região com potencial para a ocorrência de conflitos pelo uso da água. Destacam-se, ainda, as regiões Atlântico Sul, Uruguai, Atlântico Leste e São Francisco, onde as vazões de retirada correspondem, respectivamente, a 30,3%, 22,5%, 17,3% e 11,3% da Q_{95} . Em contrapartida, nas regiões Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, Paraguai e Tocantins-Araguaia as demandas relativas à irrigação são pouco expressivas em relação aos valores de Q_m e Q_{95} .

Considerando as cinco regiões hidrográficas com maior concentração de áreas irrigadas no Brasil (Paraná, Atlântico Sul, São Francisco, Atlântico Nordeste Oriental e Uruguai) verifica-se que apenas na região Paraná a situação é menos complexa, com a demanda para irrigação correspondendo a 5,2% da Q_{95} .

As relações Q_{ri}/Q_m e Q_{ri}/Q_{95} são importantes indicadores de potenciais conflitos que podem ser advindos das demandas hídricas e dos usos múltiplos das águas em uma bacia hidrográfica.

22.3 Demandas hídricas e usos múltiplos da água no Brasil

Devido às múltiplas funções da água, que podem ser: biológica, quando a água é utilizada para as necessidades fisiológicas humanas e dos animais; ecossistêmica, por ser hábitat para seres aquáticos; econômica, uma vez que é utilizada como matéria prima na indústria, agricultura e transporte; e simbólica, por estar associada a valores sociais e culturais; os setores usuários da água são os mais diversos, sendo que alguns usos implicam na retirada de água dos corpos hídricos, enquanto outros desenvolvem suas atividades no próprio ambiente aquático.

A utilização dos recursos hídricos pode ter caráter consuntivo, quando a água é derivada do manancial superficial ou subterrâneo, somente retornando em parte, sendo utilizado como insumo de um processo produtivo. Neste caso específico existem perdas entre o que é derivado e o que retorna ao curso natural e os efeitos na qualidade da água podem ser os mais diversos, como a contaminação e a poluição pela dissolução de substâncias orgânicas, minerais e agentes patogênicos. Entre os usos consuntivos destacam-se: abastecimento de água para uso humano (urbano e rural), abastecimento industrial, irrigação e dessedentação de animais.

Já os usos não consuntivos são aqueles em que não existe consumo efetivo de água, podendo ou não haver derivação de água dos corpos hídricos, pois em certos casos as atividades se desenvolvem no próprio curso de água. Alguns desses usos podem não afetar expressivamente a qualidade da água, entretanto, podem alterar o regime hidrológico, como acontece, por exemplo, com a construção de barragens para regularização de vazões. Dentre os usos não consuntivos destacam-se: geração de energia elétrica, navegação fluvial, recreação e harmonia paisagística, pesca/aquicultura, diluição, assimilação e transporte de esgotos e resíduos líquidos e usos ecológicos.

O estabelecimento de uma clara ligação entre os diversos usos da água e seus requisitos de qualidade é fundamental. Determinados usos da água são considerados nobres, exigindo, portanto, um rigoroso controle da qualidade, enquanto outros usos são mais permissivos e não estão vinculados a rígidos critérios de qualidade. Em um mesmo tipo de uso da água, como por exemplo, a agricultura irrigada, pode se ter diferentes exigências em termos de qualidade dependendo do método de irrigação utilizado e da cultura a ser irrigada.

A legislação brasileira que trata sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, é a Resolução Conama 357/2005, que estabelece cinco diferentes classes de águas doces (Especial, 1, 2, 3 e 4) e os respectivos usos associados a estas classes para fins de classificação dos corpos de água, sendo que no caso da irrigação é definido que é necessário se ter água de classe 1 para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; classe 2 para a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e classe 3 para a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. Verifica-se, portanto, que a qualidade da água deve estar intimamente associada ao uso a que ela se destina.

Constata-se, assim, que uma mesma água pode ser apropriada para determinado uso, mas estar poluída para outra utilização. Para a agricultura, por exemplo, pode ser conveniente que o ambiente aquático seja rico em nutrientes que, por outro lado, é indesejável para uma água destinada ao abastecimento humano. Uma água com elevado teor salino é imprópria

para uso agrícola, não havendo, entretanto, maiores restrições para seu uso na geração de energia ou mesmo para navegação.

No contexto da gestão de recursos hídricos merece destaque os usos consuntivos, visto que tais usos tem o potencial de afetar expressivamente a disponibilidade hídrica quantitativa, devendo sempre ser considerados para a elaboração do balanço entre a disponibilidade e demanda de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica.

Na Tabela 2 são apresentados dados relativos aos principais setores que utilizam a água de forma consuntiva no Brasil, com destaque para as vazões de retirada, de consumo e de retorno de cada setor usuário, em que se pode verificar que os grandes responsáveis pelo consumo efetivo de água são a agropecuária (irrigação e uso animal), a indústria e o abastecimento doméstico (urbano e rural).

A demanda de água dos usos múltiplos corresponde à vazão de retirada, ou seja, a água captada destinada a atender aos diversos usos consuntivos. Parte dessa água captada é devolvida aos corpos hídricos após o uso, sendo denominada vazão de retorno e parte não é devolvida, sendo chamada de vazão de consumo, que é obtida pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019b).

Tabela 2. Situação das vazões de retirada, de consumo e de retorno para os diferentes setores usuários de água do Brasil no ano de 2018 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019b).

Usos	Vazão de retirada		Vazão de consumo		Vazão de retorno	
	m ³ s ⁻¹	%	m ³ s ⁻¹	%	m ³ s ⁻¹	%
Irrigação	1.019,9	49,8	728,1	66,1	291,8	21,9
Abastecimento urbano	500,6	24,4	100,1	9,1	400,5	30,1
Indústria	195,6	9,6	105,1	9,5	90,5	6,8
Abastecimento rural	33,8	1,7	27,1	2,5	6,8	0,5
Mineração	34,5	1,7	10,1	0,9	24,4	1,8
Termelétrica	92,7	4,5	2,9	0,3	89,8	6,7
Uso animal	170,8	8,3	128	11,6	428	32,1
TOTAL	2.047,9	100,0	1.101,4	100,0	1.331,8	100,0

Os dados apresentados na Tabela 2 confirmam que a irrigação se constitui no mais expressivo usuário consuntivo de água no Brasil, de modo que, nas regiões onde essa atividade é intensa, especial atenção deve ser dada à gestão de recursos hídricos, a fim de se compatibilizar a disponibilidade e as demandas hídricas, visando evitar a ocorrência de conflitos pelo uso da água.

Para ilustrar, na prática, o uso intensivo de água na agricultura irrigada, apresenta-se o exemplo simplificado correspondente à uma área irrigada de 100 hectares, na qual a demanda evapotranspiratória de uma cultura hipotética seja de 5 mm dia⁻¹ num período sem ocorrência de chuvas. Se o sistema de irrigação apresentar uma eficiência de 80% haverá a necessidade de aplicação de uma lâmina de 6,25 mm dia⁻¹ para reposição da evapotranspiração da cultura. Sabendo-se que uma lâmina de 1 mm de irrigação corresponde

a um volume de 1 L em cada metro quadrado de área, ou a $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, obtém-se um valor de $62,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e de $6.250 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ em toda a área irrigada. Para fins de comparação com o consumo de água para abastecimento humano, no qual o consumo per capita de água pode ser considerado em, aproximadamente, 200 litros por dia por habitante, isto é, $0,2 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, a quantidade de água necessária para irrigar uma área de 100 hectares, suprimindo somente a demanda evapotranspiratória da cultura, corresponderia à mesma quantidade de água necessária ao abastecimento diário de uma população de, aproximadamente, 31.250 habitantes.

Na Figura 1 tem-se a evolução das áreas irrigadas no Brasil, no período de 1960 a 2015. Segundo ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2013), verifica-se no país um expressivo aumento das áreas irrigadas nas últimas décadas, sempre com taxas superiores às do crescimento da área plantada total no país. Em 1970, a irrigação correspondia a apenas 2,3% da área cultivada, chegando a 6,0% em 1995 e ao patamar de 8,3% em 2012. Mesmo considerando-se o acentuado incremento nos últimos anos, o Brasil ainda apresenta um percentual de áreas irrigadas em relação à área total cultivada muito baixo comparativamente à média mundial, que é de, aproximadamente, 18% (CHRISTOFIDIS, 2008).

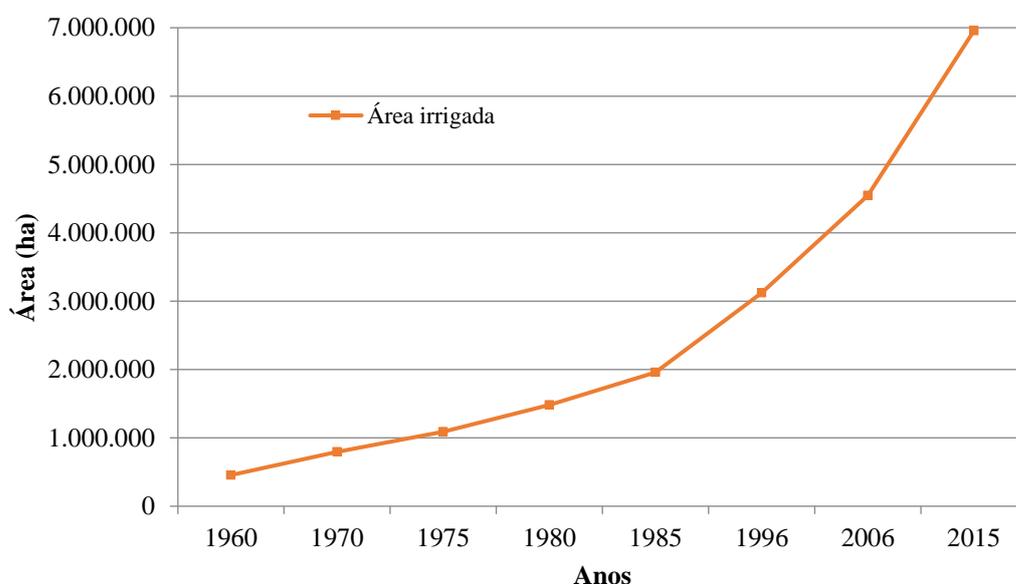


Figura 1. Evolução da área irrigada no Brasil no período de 1960 a 2015 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017a).

A ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017a) estimou que a área irrigada no Brasil em 2015 era de 6,95 milhões de hectares (Mha), devendo crescer mais 45% até 2030, atingindo 10 Mha, tendo-se uma média de crescimento correspondente a pouco mais de 200 mil hectares ao ano. O potencial de expansão apontado acentua a necessidade de um esforço crescente de planejamento e gestão dos recursos hídricos, a fim de evitar ou minimizar conflitos pelo uso da água, em especial nas bacias hidrográficas que já possuem indicadores de criticidade quantitativa.

22.4 Política Nacional de Recursos Hídricos

Desde o início do século passado o Brasil começou a se preocupar com o gerenciamento de recursos hídricos, culminando com a promulgação, em 1934, do Código de Águas (Decreto 24.643). A principal motivação para a elaboração do referido código foi a inexistência de uma legislação adequada para a época, que estivesse em acordo com as necessidades e interesses

da coletividade nacional, e a necessidade de dotar o país de uma legislação que permitisse ao poder público administrar e incentivar o aproveitamento das águas.

O Código de Águas, que apresentava uma surpreendente visão de futuro, constituiu-se numa legislação extremamente avançada para a época, estabelecendo um ordenamento jurídico para o uso das águas, com normas claras para o aproveitamento dos cursos d'água, especialmente para geração de energia, prevendo uma série de instrumentos de gestão de recursos hídricos que ainda são utilizados.

Em 1988, a Constituição Federal trouxe expressivas mudanças em relação aos recursos hídricos em seu artigo 21, inciso XIX, estabelecendo que compete à União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso. Introduziu, ainda, novos conceitos, dentre os quais se destacam a dominialidade federal ou estadual das águas e atribuições relacionadas à gestão de recursos hídricos no Brasil.

Constituem-se bens da União, segundo o artigo 20, inciso III, da Constituição Federal: os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais. Já em seu artigo 26, inciso I, estabelecem-se como bens dos Estados as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

Com a necessidade de regulamentação dos dispositivos constitucionais previstos na Constituição Federal de 1988, foi sancionada a Lei Federal 9.433, em 8 de janeiro de 1997, a qual ficou popularmente conhecida como lei das águas, e instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de gerenciamento de recursos hídricos (SINGREH).

Na PNRH, importantes fundamentos são apresentados para suporte ao gerenciamento de recursos hídricos, como: (i) a água é um bem de domínio público; (ii) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; (iii) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; (iv) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; (v) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da política nacional de recursos hídricos e atuação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos; e (vi) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Como instrumentos para a gestão de recursos hídricos a PNRH (BRASIL, 1997) instituiu: (i) os planos de recursos hídricos; (ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; (iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; (iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e (v) o sistema de informações sobre recursos hídricos. Em relação à agricultura irrigada merecem destaques especiais os instrumentos de outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Ao passo em que a PNRH instituiu os fundamentos e os instrumentos de gestão no país, o SINGREH criou toda uma estrutura, formada por diferentes órgãos e instituições, com os objetivos de: (i) coordenar a gestão integrada das águas; (ii) arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; (iii) implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; (iv) planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e (v) promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

O SINGREH trouxe como principal mudança na gestão de recursos hídricos a migração de um modelo centralizado de gestão para um modelo descentralizado, com a previsão de participação conjunta no processo de decisão dos segmentos governamentais e não governamentais (usuários de água e organizações da sociedade civil), com foco decisório em instâncias colegiadas de recursos hídricos, como conselhos de recursos hídricos e comitês de bacias hidrográficas.

Na Figura 2 tem-se sintetizado o modelo institucional adotado no SINGREH, destacando as instâncias decisórias dos conselhos, nacional e estaduais; os comitês de bacia hidrográfica, nos domínios federal e estadual; a atuação dos órgãos gestores de recursos hídricos, Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e entidades correlatas estaduais; e as agências de bacias hidrográficas.

O pleno funcionamento das instituições integrantes do SINGREH, respeitados os seus objetivos e atribuições, garantem uma gestão descentralizada dos recursos hídricos no país, na qual a participação de todos os envolvidos, representados pelo poder público, sociedade civil e usuários, é fator indispensável para o uso múltiplo e racional da água, a fim de se dirimir e evitar o surgimento de novos conflitos pelo uso da água.

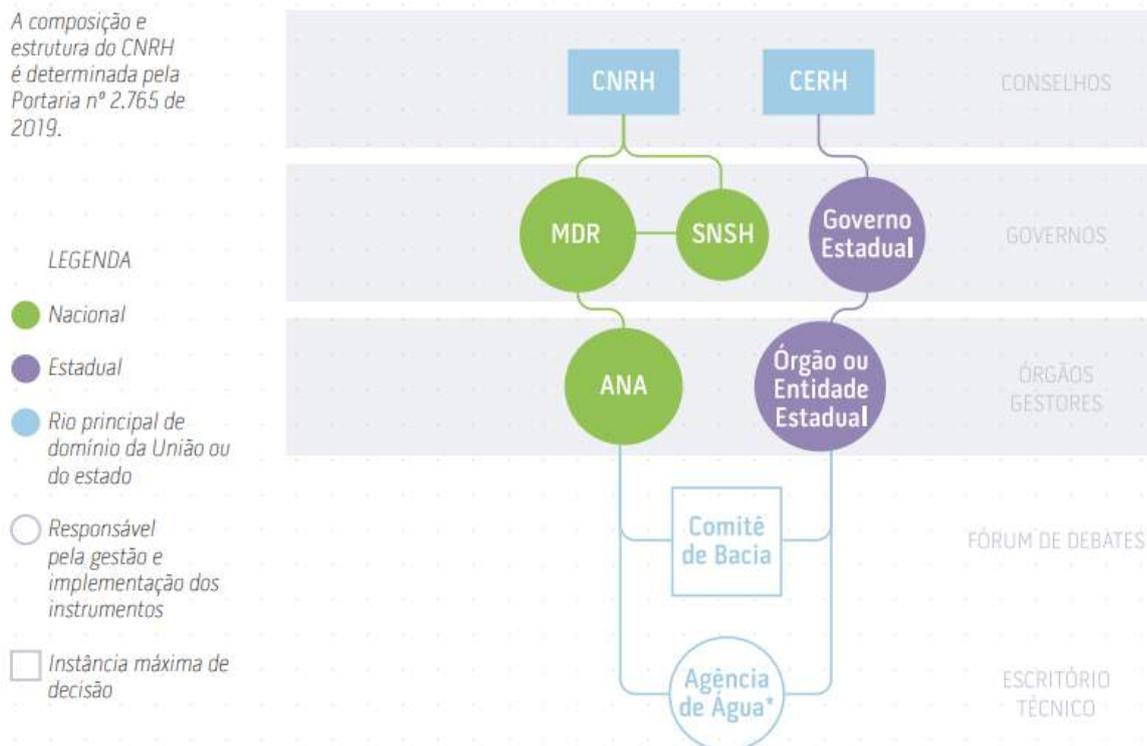


Figura 2. Estrutura e atribuições do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

22.4.1 Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos

A outorga é um ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado o uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato. Pela Constituição Federal de 1988 a água é propriedade da União ou dos Estados, tendo sido estabelecidos rios federais (aqueles que banham dois ou mais estados, ou que servem de divisa entre os estados, ou que sejam transnacionais) e rios estaduais (aqueles que se limitam a um único Estado, ou seja, riachos, ribeirões, córregos e rios que nascem e deságuam nos limites geográficos do próprio Estado).

Como exemplos de rios federais podem ser citados os rios São Francisco (banha os estados de MG, BA, PE, AL e SE), Grande (divisa MG e SP) e Paraná (divisa Brasil e Paraguai), enquanto o Rio das Velhas, que nasce em Ouro Preto (MG), atravessa a região metropolitana de Belo Horizonte e deságua no rio São Francisco, em Várzea da Palma (MG), é estadual. Em consequência do exposto, o uso das águas pertencentes aos rios federais deve ser outorgado pela União, através da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e o das águas dos rios estaduais pelo respectivo órgão gestor estadual ou do Distrito Federal.

Destaca-se, ainda, que segundo a Constituição Federal todas as águas subterrâneas são de dominialidade estadual, ou seja, a ANA não autoriza o uso de águas subterrâneas no Brasil e sim os órgãos gestores dos diferentes Estados e do Distrito Federal. Na prática esse procedimento acaba sendo questionável, visto que os limites dos aquíferos não coincidem com os limites dos Estados e que é comum se observar regras de utilização da água subterrânea totalmente distintas em estados limítrofes, o que constitui uma incoerência destacadamente nos casos em que as outorgas nos distintos estados se referem ao mesmo sistema aquífero.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos constitui-se, provavelmente, num dos mais importantes instrumentos de gestão no Brasil, pois por intermédio dela se faz a repartição dos recursos hídricos disponíveis entre os diferentes usuários que, eventualmente, disputam recursos escassos, em quantidade ou qualidade, para atender às suas necessidades. A outorga deve garantir ao usuário o direito de uso da água, condicionado à disponibilidade hídrica.

Destaca-se, entretanto, que essa premissa somente será alcançada naqueles estados que tem uma base de informações confiáveis sobre disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, permitindo que a outorga seja feita levando-se em consideração informações consistentes no que diz respeito ao regime hidrológico da região. Por outro lado, quando a outorga não é avaliada com base em informações hidrológicas consistentes a mesma se transforma apenas num instrumento burocrático, que muitos chamam de "outorga cartorial", em que o usuário apenas cumpre um procedimento burocrático, paga diversas taxas processuais, mas infelizmente o órgão gestor não dispõe de uma base de informações adequada de modo a outorgar com a necessária segurança que os usuários deveriam ter em termos de efetiva utilização da água que lhes foi outorgada.

A Lei Federal 9.433/1997 prevê a possibilidade de suspensão ou cancelamento das outorgas em situações de eventos extremos, como as secas muito severas, devendo se ter priorização dos usos de abastecimento humano e dessedentação de animais, e isso é aceitável por parte dos usuários. Entretanto, caso as vazões outorgadas não possam ser efetivadas pelos usuários mesmo naqueles períodos em que não se tem a ocorrência de eventos extremos a situação se torna mais complexa, devendo ser objeto de ampla reflexão em nível nacional, pois isso pode diminuir a credibilidade do sistema e aumentar o potencial de conflitos entre os usuários.

Cabe ao poder outorgante examinar cada pedido de outorga e verificar a existência de água, considerando os aspectos quantitativos e qualitativos, para que o pedido possa ser atendido. Ressalta-se, entretanto, que no Brasil tem sido mais comum proceder-se à análise dos pedidos de outorga apenas com base em aspectos quantitativos. Neste contexto, do ponto de vista hidrológico, a quantidade de água a ser outorgada para determinado curso d'água é estabelecida primordialmente em função da análise dos dados de vazões mínimas ou de estiagem e das quantidades já outorgadas a montante e a jusante. O conhecimento da quantidade da água já comprometida pelo uso, decorrentes das outorgas já concedidas ou dos cadastrados de usos insignificantes, é essencial para que os órgãos gestores de recursos hídricos possam efetuar o balanço entre a disponibilidade e a demanda dos recursos hídricos.

A quantidade a ser outorgada varia com o regime hidrológico do rio e em função do critério de outorga utilizado pelo órgão gestor de recursos hídricos. Em rios de regime permanente ou perenes, a outorga é usualmente feita com base na $Q_{7,10}$ (vazão mínima média de sete dias consecutivos, associada a um período de retorno de 10 anos) ou na vazão associada às permanências de 90% (Q_{90}) ou 95% do tempo (Q_{95}), atribuindo-se valores percentuais a elas, ou seja, outorgando-se apenas parte destes valores de vazões mínimas.

Já para rios de regime temporário ou intermitentes o processo de outorga torna-se mais complexo, pois na época seca o rio deixa de apresentar vazão e os valores de Q_{90} e Q_{95} podem ser nulos nos casos em que os cursos de água deixam de apresentar vazão em regime natural por mais de 10 e 5% do tempo, respectivamente, sendo necessária a regularização dos cursos de água para fins de outorga no período seco do ano e, nestes casos, tem sido mais comum a utilização de vazões regularizadas associadas a diferentes permanências no tempo, como 90% (Q_{90reg}) ou 95% (Q_{95reg}).

Segundo a Lei Federal 9.433/1997, estão sujeitos à outorga pelo poder público, os seguintes usos de recursos hídricos: I - derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; II - extração de água de aquífero subterrâneo (exploração de águas subterrâneas) para consumo final ou insumo de processo produtivo; III - lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; IV - aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; e V - obras que interfiram nos recursos hídricos como: perfuração de poços tubulares; construção de barramentos e açudes; construção de diques ou desvios em corpos de água; construção de estruturas de lançamento de efluentes em corpos de água; construção de estruturas de recreação nas margens de corpos de água; construção de estruturas de transposição de níveis; construção de travessias rododiferroviárias; dragagem, desassoreamento e limpeza de corpos de água; garantia de tirantes mínimos para navegação hidroviária; retificação, canalização ou obras de drenagem; transposição de bacias e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

Em todo o país os usuários têm solicitado aos respectivos órgãos gestores de recursos hídricos autorização para a captação de água superficial e exploração de água subterrânea para as mais diversas finalidades, sendo a agricultura irrigada responsável pelo maior número de solicitações de outorga (Figura 3). Os processos de requerimento de outorga são divididos em requerimentos para captação superficial ou subterrânea, sendo que nos casos de captação superficial estão incluídas quaisquer intervenções que venham a alterar quantitativamente ou qualitativamente o curso d'água.

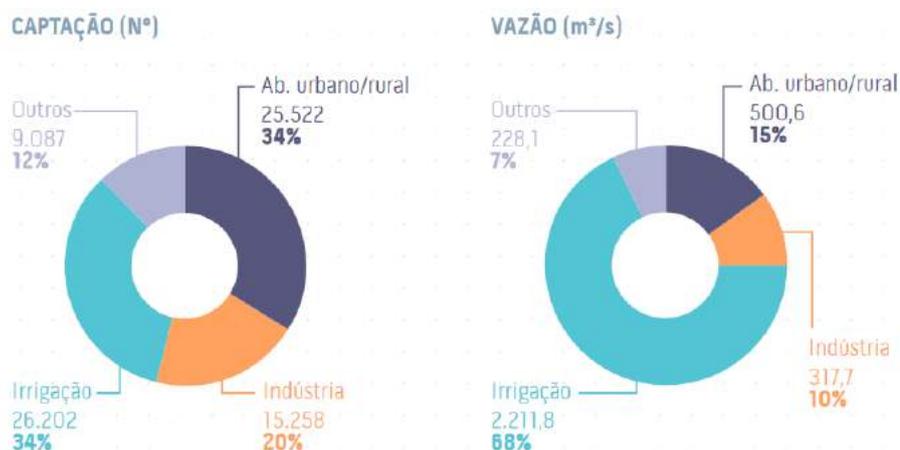


Figura 3. Quantidade e vazão total das outorgas federais e estaduais vigentes em julho de 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019c).

A Lei Federal 9.433/1997 estabeleceu infrações e penalidades para usuários de recursos hídricos. As infrações referem-se à utilização do recurso hídrico sem a competente outorga de direito de uso ou em desacordo com esta, à execução de obras em desacordo com os termos da outorga, à declaração incorreta de volumes utilizados ou à fraude nas medições desses volumes, à desobediência às normas estabelecidas no regulamento dessa lei e a regulamentos administrativos fixados por órgãos competentes e ao obstáculo à ação fiscalizadora (BRASIL, 1997).

As penalidades variam desde a advertência à aplicação de multa (simples ou diária), ao embargo provisório e até o embargo definitivo, dependendo da gravidade da infração. A outorga poderá ser suspensa caso o usuário não efetue o pagamento dos valores fixados para a cobrança nos prazos e critérios estabelecidos pelo comitê de bacia hidrográfica.

Além da suspensão pelo não-pagamento dos valores da cobrança, estão previstas as seguintes situações nas quais a suspensão da outorga poderá ser efetivada: necessidade de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; para prevenir ou reverter grave degradação ambiental; para atender aos usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; para manter as características de navegabilidade do corpo hídrico; e no caso de ser instituído regime de racionamento de recursos hídricos.

Existe, ainda, a possibilidade de extinção da outorga nas seguintes circunstâncias: ausência de uso por três anos consecutivos; morte do usuário (pessoa física); liquidação judicial ou extrajudicial do usuário (pessoa jurídica); término do prazo de validade de outorga sem que tenha havido tempestivo pedido de renovação; e indeferimento ou cassação da licença ambiental (BRASIL, 1997).

Com base no fato de que a disponibilidade hídrica é condicionada pela variabilidade natural do processo hidrológico, como por exemplo pela ocorrência de precipitações, e ainda em decorrência da necessidade de garantia de atendimento a usos prioritários estabelecidos pela legislação, como o abastecimento das populações e a dessedentação de animais, existe também a possibilidade de extinção e suspensão parcial ou total da outorga, por prazo determinado ou em definitivo, mesmo não havendo infrações.

Importante, portanto, perceber que para qualquer projeto de agricultura irrigada é necessário o empreendedor estar atento aos respectivos licenciamentos ambientais e a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a fim de que o uso da água sem as respectivas autorizações legais não acarrete em penalidades que possam comprometer a sua produção.

22.4.2 Cobrança pelo uso de recursos hídricos

A cobrança pelo uso de recursos hídricos é um dos instrumentos da PNRH, possuindo como objetivos:

- I - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; II - incentivar a racionalização do uso da água; e III - obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos (BRASIL, 1997b).

Todos os usuários de água detentores de outorga são passíveis de cobrança, embora, em várias bacias hidrográficas do país, este instrumento ainda não tenha sido implementado (Figura 4). Muitos usuários, em uma primeira análise, consideram a cobrança como uma taxa, ou imposto pelo uso da água, no entanto, é importante frisar que a cobrança corresponde a uma remuneração pelo uso de um bem que é de todos.

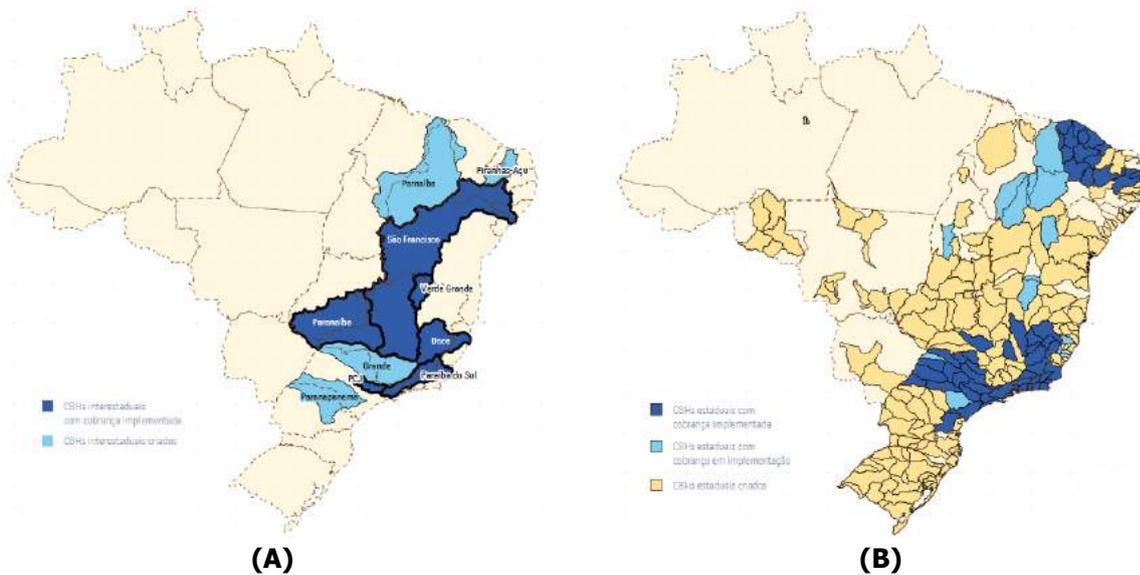


Figura 4. Cobrança pelo uso de recursos hídricos no país: (A) em bacias interestaduais; e (B) em bacias estaduais (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019c).

A definição dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos é realizada no âmbito dos comitês de bacia, a partir da participação do poder público, da sociedade civil e dos próprios usuários de água. Os recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos são aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e são utilizados: (i) no financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos Planos de Recursos Hídricos; e (ii) no pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes SINGREH.

Cabe ao comitê da bacia, através do instrumento do Plano de Recursos Hídricos da bacia, definir os estudos, programas, projetos e as obras que devem ser financiadas com os valores arrecadados com a cobrança. É possível, através de consultas ao próprio comitê ou agência de água da bacia verificar os valores que foram cobrados, bem como a forma de aplicação dos recursos arrecadados.

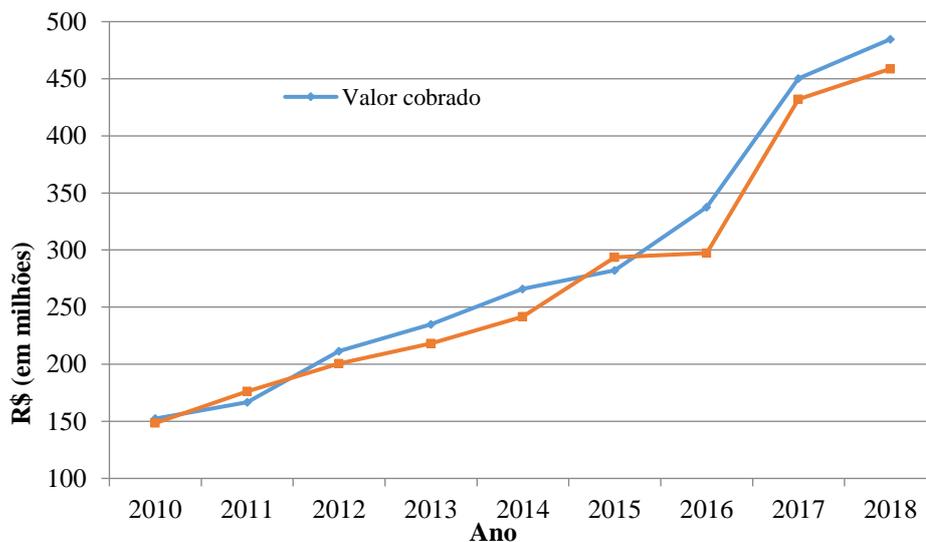


Figura 5. Evolução da cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019d).

Na Figura 5 apresenta-se a evolução da cobrança no país desde 2010. Em 2018, o Brasil arrecadou por volta de R\$ 458 milhões com a cobrança pelo uso de recursos hídricos, tendo sido cobrado o valor de R\$ 484 milhões, demonstrando o respeito e o compromisso do setor usuário com este instrumento de gestão.

Em estudo conduzido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2011b), foi analisado o impacto da cobrança pelo uso de recursos hídricos nos usuários de água de domínio da União nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Piracicaba, Capivari e Jundiá. Os resultados demonstraram que: (i) o instrumento da cobrança pelo uso de recursos hídricos necessita ser mais bem divulgado, abordando não somente a aplicação de recursos, mas também esclarecendo os objetivos e os mecanismos de cobrança; (ii) a cobrança não é, por si só, indutora ao uso racional, uma vez que fatores como consciência ambiental, melhoria nos processos e redução de custos foram apontados como mais significativos; e (iii) a construção de estações de tratamento de esgoto foi a sugestão prioritária para a aplicação dos recursos arrecadados.

Verifica-se, portanto, que, por um lado, a cobrança aparece como fator essencial ao reconhecimento da água como bem econômico e, por outro, este instrumento necessita de melhor divulgação de seus objetivos e mecanismos aos usuários, para que possa cumprir com seu papel de indutor ao uso racional da água.

Conforme explica ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019a), uma cobrança pelo uso de recursos hídricos bem projetada tem potencial para influenciar o comportamento dos usuários, uma vez que promove a eficiência do uso da água e torna o lançamento de efluentes mais dispendioso, sendo que, em ambos os casos, a cobrança promove o uso de tecnologias poupadoras e práticas despoluidoras. Além disso, os valores arrecadados com a cobrança podem viabilizar financeiramente a execução das ações previstas nos planos de bacia, contribuindo para o aumento da disponibilidade quantitativa e qualitativa da água na bacia hidrográfica.

22.4.3 Comitês e agências de bacia hidrográfica

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituiu como um de seus fundamentos que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade civil por meio dos comitês de bacia hidrográfica (BRASIL, 1997). A importância da participação dos diversos atores num comitê de bacias hidrográficas tem por base fortalecer os processos de negociação e a construção de parcerias, e de se evitar a exclusão de grupos de usuários (MALHEIROS; PROTA; RINCÓN, 2013).

A representatividade do poder público, dos usuários e da sociedade civil permite ao Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) ser um fórum em que um grupo de pessoas se reúne para discutir sobre o uso da água na bacia. É um órgão colegiado da gestão de recursos hídricos, com atribuições de caráter deliberativo, propositivo e consultivo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2011a).

A diferença do CBH para outras formas de participação estabelecidas em políticas públicas é o poder dos usuários e das organizações civis de deliberar sobre a gestão da água conjuntamente com o poder público (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2011a). Dentre as atribuições deliberativas dos comitês estão: aprovar o plano de recursos hídricos da bacia; arbitrar os conflitos pelo uso da água; e estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados (BRASIL, 1997).

Os comitês de bacia hidrográfica possuem, ainda, atribuições propositivas e consultivas. Em relação às atribuições propositivas, cabe aos comitês indicar a agência de água

para atuação na bacia; os usos de pouca expressão; as prioridades de outorga no âmbito da bacia, respeitando o estabelecido na PNRH; e as prioridades para aplicação da arrecadação, além de sugerir os valores a serem cobrados pelo uso da água ao conselho de recursos hídricos competente. Já quanto as responsabilidades consultivas, os comitês devem promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes (BRASIL, 1997).

Pelo caráter deliberativo, propositivo e consultivo, para o pleno funcionamento de um comitê de bacia faz-se necessário apoio técnico e operacional. As agências de água funcionam como secretaria executiva do comitê, desempenhando trabalhos técnicos e financeiros, bem como a articulação no âmbito de um modelo de gestão compartilhada dos recursos hídricos. De acordo com a Lei das Águas, as agências de água integram o SINGREH, e sua criação deve ser autorizada pelo conselho de recursos hídricos competente, mediante solicitação do comitê de bacia hidrográfica, desde que sua viabilidade financeira seja assegurada pela cobrança pelo uso de recursos hídricos.

As principais competências das agências são: gerir o Sistema de Informações sobre recursos hídricos; elaborar a sua proposta orçamentária e submetê-la à apreciação do CBH; preparar o plano de recursos hídricos para apreciação do CBH; propor ao CBH o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso e os valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos, bem como efetuar a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

O efetivo funcionamento de um comitê de bacia, no sentido de ser um local de debate com vistas à proteção dos recursos hídricos da bacia, promovendo deste modo a sustentabilidade do uso da água na região, só é possível com o apoio da agência de bacia, a qual para a sua criação depende da implementação do instrumento de cobrança pelo uso de recursos hídricos, uma vez que os custos de seu funcionamento são financiados por parte dos valores arrecadados com a cobrança.

22.5 Política Nacional de Irrigação

A primeira Política Nacional de Irrigação (PNI) instituída no país foi a Lei Federal 6.662, de 25 de junho de 1979. Esta Política visava o aproveitamento racional da água e dos solos para a implantação e desenvolvimento da agricultura irrigada, tendo sido um importante marco legal para este setor. Apesar da existência desta primeira PNI, os investimentos e incentivos por parte do governo federal focaram em projetos públicos de irrigação.

Em 2013, através da Lei Federal 12.787, foi instituída uma nova Política Nacional de Irrigação. A nova PNI surgiu para aprimorar e promover o desenvolvimento dos projetos de irrigação, sem os obstáculos da antiga legislação, e principalmente com a preocupação da sustentabilidade ambiental (CAVALCANTE, 2020).

A Política Nacional de Irrigação busca, em diversos aspectos, ser compatível com a Lei das Águas (Lei Federal 9.433/1997). Um exemplo prático dessa compatibilidade é a definição de que os planos de irrigação sejam compatíveis com os planos de recursos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017b).

Dentre os objetivos da PNI estão: (i) incentivar a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis, (ii) reduzir os riscos climáticos inerentes à atividade agropecuária, principalmente nas regiões sujeitas a baixa ou irregular distribuição de chuvas, (iii) promover o desenvolvimento local e regional, com prioridade para as regiões com baixos indicadores sociais e econômicos, (iv) concorrer para o aumento da competitividade do agronegócio brasileiro e para a geração de emprego e renda, (v) contribuir para o abastecimento do mercado interno de alimentos, de fibras e de energia renovável, bem como para a geração de excedentes agrícolas para exportação, (vi) capacitar recursos humanos e fomentar a geração e transferência de tecnologias relacionadas a

irrigação, e (vii) incentivar projetos privados de irrigação, conforme definição em regulamento (BRASIL, 2013).

Assim como a Lei das Águas possui seus instrumentos para a gestão e o planejamento dos recursos hídricos, a PNI possui instrumentos para a promoção da irrigação no país, sendo eles: (i) os Planos e Projetos de Irrigação, (ii) o Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação, (iii) os incentivos fiscais, o crédito e o seguro rural, (iv) a formação de recursos humanos, (v) a pesquisa científica e tecnológica, (vi) a assistência técnica e a extensão rural, (vii) as tarifas especiais de energia elétrica para irrigação, (viii) a certificação dos projetos de irrigação, (ix) o Fundo de Investimento em Participações em Infraestrutura (FIP-IE), e (x) o Conselho Nacional de Irrigação.

Além dos instrumentos da PNI, o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) do Governo Federal vem buscando iniciativas para promover a agricultura irrigada realizada pelo setor privado. Os Polos de Agricultura Irrigada são uma iniciativa do MDR que busca aproximar a Política Nacional de Irrigação ao setor produtivo privado, apoiando os produtores, as associações e as cooperativas de irrigantes, de maneira a desenvolver o setor e gerar emprego e renda (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019).

Para tanto, a Portaria MDR 2.154, de 11 de agosto de 2020, foi instituída como marco regulatório dos Polos de Agricultura Irrigada (PAI) como parte integrante das ações de implementação da PNI e de incentivo ao desenvolvimento regional (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020b). Nesta Portaria os PAI foram definidos como aglomerados agrícolas onde a produção irrigada está presente e que tenha potencial de expansão, considerando, especialmente, a disponibilidade de água e de solo.

Segundo MDR (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020a), a proposta da iniciativa dos Polos de Agricultura Irrigada traz uma nova abordagem quanto da Política Nacional de Irrigação, ou seja, trata-se de um planejamento que incorpora a dimensão setorial da irrigação a visão do desenvolvimento regional em que as demandas dos diversos atores que possuem nexos com a atividade são organizadas a partir da abordagem *bottom-up*, com a elaboração de uma carteira de projetos e priorização das principais demandas.

Cabe à Secretaria Nacional de Mobilidade e Desenvolvimento Regional e Urbano, do Ministério do Desenvolvimento Regional, selecionar os Polos de Agricultura Irrigada, os quais terão uma área de abrangência e uma carteira de projetos, as quais serão gerenciadas pelo Grupo Gestor do Polo. Caberá ao Grupo Gestor do Polo apontar os projetos prioritários, buscar formas de apoio à execução dos projetos e fazer o acompanhamento das ações da carteira em interlocução direta com MDR.

Inicialmente, o MDR fixou seis polos-piloto a serem trabalhados e reconhecidos. Eles foram apontados a partir de um levantamento prévio e estão localizados nos seguintes estados/regiões: (i) Rio Grande do Sul - Bacia do Rio Santa Maria, (ii) Goiás - Região do Vale do Araguaia (iii) Goiás - Região de Cristalina, (iv) Bahia - Região do Oeste Baiano, (v) Mato Grosso - Região de Sorriso, e (vi) Minas Gerais - Região de Unaí.

Apesar de constar do planejamento inicial esses projetos-piloto, espera-se que o setor da agricultura irrigada organizado procure o MDR para que outros polos de irrigação participem da iniciativa e recebam apoio das diversas instâncias parceiras que buscam alavancar a agricultura irrigada no Brasil (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019).

22.6 Considerações finais

A agricultura irrigada é setor produtivo de destaque, contribuindo fortemente com a geração de riquezas no país. Considerando que no Brasil se utiliza apenas 19,6% das áreas

potencialmente irrigáveis e dada a disponibilidade hídrica nacional, verifica-se o potencial de crescimento que este setor ainda possui.

A ampliação da prática da irrigação constitui-se numa opção estratégica para aumentar a oferta de alimentos para uma população mundial que cresce numa taxa muito acentuada, com 7,6 bilhões de pessoas em 2017 e uma previsão de 9,8 bilhões em 2050, segundo dados da ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2017). Além de permitir a consolidação do Brasil como grande produtor mundial de alimentos num mercado internacional altamente competitivo, a irrigação possibilita aumentar a produção, a produtividade, a renda e o emprego tanto no meio rural como no meio urbano, em função da cadeia produtiva envolvida direta ou indiretamente no complexo de atividades da agricultura irrigada.

Mesmo reconhecendo a importância de sua ampliação e com toda pujança econômica e social, a agricultura irrigada enfrenta diariamente vários desafios, a exemplo das dificuldades para a obtenção de licenças ambientais e outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos.

É necessário, no entanto, reconhecer que a irrigação apresenta expressivo impacto em termos da disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, já tendo contribuído, em várias regiões do país, com o surgimento de conflitos pelo uso da água. Deste modo, fica evidente a importância estratégica de se focar no desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, sempre levando em conta a disponibilidade hídrica nas distintas bacias hidrográficas e a compatibilização das demandas com os demais setores usuários de água, de modo a minimizar a possibilidade de ocorrência de novos conflitos pelo uso da água no país.

A despeito da agricultura irrigada ser o maior usuário consuntivo de água tanto no Brasil quanto em escala mundial, considera-se que o seu uso deva ser incentivado na medida em que uma irrigação bem conduzida, com manejo eficiente e adequado, poderá ampliar expressivamente a produtividade das culturas e o valor da produção, permitindo a produção de maior quantidade de alimentos em uma mesma área e, assim, reduzindo o avanço das fronteiras agrícolas em áreas florestadas e a pressão por incorporação de novas áreas para cultivo, contribuindo para a preservação do meio ambiente, gerando empregos no campo e minimizando o êxodo rural para as periferias dos centros urbanos.

A sustentabilidade da agricultura irrigada demanda estudos que considerem os aspectos técnicos, ecológicos e socioeconômicos da região. Em relação às questões ecológicas, devem-se evitar extremismos, pois tanto a total desconsideração quanto a supervalorização do impacto ambiental não são benéficas ao desenvolvimento sustentável da atividade. Os esforços devem ser concentrados no sentido de obter bases de dados confiáveis que permitam quantificar a magnitude do impacto ambiental ocasionado pela irrigação, de modo que essa variável seja considerada na implementação e manejo dos projetos. Tal procedimento possibilitará um crescimento sustentável da irrigação no Brasil, evitando, assim, um desenvolvimento baseado, exclusivamente, em benefícios financeiros, sem considerar os problemas relacionados ao meio ambiente.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 86p., 2017a. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br>. Acesso em: 2 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 80p., 2019a. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ana_encarte_cobranca_conjuntura2019.pdf. Acesso em: 2 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Comitê de bacia hidrográfica**: o que é e o que faz? In: Cadernos de capacitação em recursos hídricos. Capacitação para a Gestão das Águas.

- Brasília: ANA, 64p., 2011a. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 432p., 2013. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html. Acesso em: 2 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**. Brasília: ANA, 100p., 2019b. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br>. Acesso em: 2 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**. Brasília: ANA, 118p., 2020. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Estudo da ANA aponta em 45% potencial de expansão da irrigação no Brasil até 2030**. Brasília: ANA, 2017b. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/estudo-da-ana-aponta-em-45-potencial-de-expansao-da-irrigacao-no-brasil-ate-2030>. Acesso em: 2 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Nota Informativa 03/2011/SAG**. Brasília, 2011b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 76p, 2019c. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ana_encarte_outorga_conjuntura2019.pdf. Acesso em: 2 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Painel gerencial da cobrança**: planilha histórico dos valores cobrados e arrecadados do início da cobrança aos dias atuais. Brasília, ANA, 2019d. Disponível em: goo.gl/GXCxhj. Acesso em: 2 dez. 2020.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. **Manual de Irrigação**. 9ed, Viçosa, Editora UFV, 545p., 2019.
- BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos (PNRH) e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos [...]. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p.470, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 2 dez. 2020.
- BRASIL. Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a política nacional de irrigação [...]. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p.4, 14 jan. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm. Acesso em: 2 dez. 2020.
- CAVALCANTE, K.L. A política nacional de irrigação (Lei 12.787/2013) e o desenvolvimento sustentável na agricultura brasileira. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, n.2, p.460-469, 2020.
- CHRISTOFIDIS, D. O futuro da irrigação e a gestão das águas (Série Irrigação e Água). Brasília, **Ministério da Integração Nacional**, 15p., 2008.
- MALHEIROS, T.F.; PROTA, M.G.; RINCÓN, M.A.P. Participação comunitária e implementação dos instrumentos de gestão da água em bacias hidrográficas. **Revista Ambiente e Água**, v.8, n.1, p.98-118, 2013.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Boletim Agricultura Irrigada**. Brasília, MDR, 1. Ed., v.1, 7p., 2019. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/desenvolvimento-regional-e-urbano/acoes-e-programas-sndru/121-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/12180-boletim-agricultura-irrigada-e-rotas-de-integracao-nacional>. Acesso em: 2 dez. 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Polos de Irrigação**. Brasília: MDR, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/irrigacao/polos-de-irrigacao>. Acesso em: 2 dez. 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Portaria 2.154** de 11 de agosto de 2020. Estabelece a iniciativa polos de agricultura irrigada como parte integrante das ações de implementação da política nacional de irrigação [...]. Brasília: MDR, 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-2.154-de-11-de-agosto-de-2020-271712506>. Acesso em: 2 dez. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas da população mundial**: revisão de 2017. Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, Desa. 2017.

CAPÍTULO 23

23 ÁGUA DE REÚSO NA AGRICULTURA IRRIGADA

Edson Eiji Matsura e Tamara Maria Gomes

Resumo

Nas últimas décadas o país tem experimentado grandes variações no clima, sobretudo naquelas onde a presença ou falta de água tem sido mais evidente, ou seja, no meio ambiente urbano-rural, e especificamente na agricultura irrigada. Sendo assim, testemunhamos conflitos pelo uso da água como recurso hídrico para geração de energia, abastecimento urbano, saneamento e produção de alimentos. Neste contexto, muitos estudos e pesquisas vem avaliando a alternativa de uso de águas residuárias na produção agrícola. Permitindo desta forma, que o uso destas águas não concorra diretamente com o recurso hídrico para usos domésticos nos grandes centros urbanos. Neste capítulo do livro, fazemos um breve relato de um tema que hora intitulamos "A água de reúso na agricultura irrigada", que ousamos apresentar em cinco partes, onde oferecemos um conteúdo, que tem como objetivo principal apresentar aos alunos de graduação, pós-graduação, pesquisadores e interessados no tema, o potencial do uso de efluentes tratados na produção de alimentos.

23.1 Introdução

A agricultura é o setor mais afetado pela escassez de água, uma vez que responde por 69% das captações globais de água doce e mais de 90% do consumo para a irrigação. Embora a agricultura irrigada esteja presente somente em cerca de 3,3 milhões de km² representando apenas 2,5% da área total, isso representa 20% da terra cultivada e gera cerca de 40% da produção agrícola global (THE UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, 2020).

Seguindo o comportamento mundial, a irrigação no Brasil é responsável pela maior quantidade de retirada, e também consumo, quando comparado aos outros segmentos. As projeções estimam que a demanda de retirada passará dos atuais 969 mil L/s para 1,338 milhão de L/s em 2030, um aumento de 38%. Quanto a vazão de consumo, poderá alcançar 1.055 milhão L/s, saindo dos atuais 745 mil L/s, um acréscimo de 42% (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

A agricultura irrigada faz uso consuntivo da água, modifica sua qualidade e quantidade na medida em que é retirada da superfície ou do subterrâneo, a maior parte é consumida pela transpiração das plantas e evaporação do solo, não retornando diretamente aos recursos hídricos. Embora o ciclo hidrológico seja fechado, esse consumo significa que a água se torna indisponível para outras aplicações, naquela localidade no curto espaço de tempo.

A área irrigada tem evoluído às taxas médias superiores a 4% ao ano, desde a década de 1960. Partiu de 462 mil hectares em 1960 para a marca de 1 milhão de hectares na década de 1970. Em 1990, foram ultrapassados os 3 milhões de hectares. Estimou-se em 2019, que o Brasil atingiu a marca de 7,3 milhões de hectares irrigados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).

Em um país de dimensões continentais e de grande diversidade de clima, solo e vegetação, a gestão dos recursos hídricos impõe grandes desafios, e deve ser realizada respeitando as especificidades de cada bacia hidrográfica.

Além da disponibilidade de recursos hídricos, outro fator importante diz respeito à qualidade das águas brasileiras, principalmente no tocante às questões de saúde pública. Segundo os indicadores gerados para acompanhamento do objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) de número 6 (NU, 2015), 63,5% da população utiliza serviços de esgotamento sanitário geridos de forma segura, incluindo instalações para lavar as mãos com água e sabão, e apenas 50% das águas residuais são tratadas de forma adequada, antes de retornar aos corpos da água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).

Em consequência, a produção de água de boa qualidade dentro dos padrões mundiais de potabilidade, torna cada vez mais onerosos os tratamentos, induzindo-os a priorização do abastecimento para consumo humano (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Torna-se evidente que a reversão desse cenário crítico, em termos de fornecimento de água, não poderá ser administrada meramente pela atenuação de conflitos de uso, de estabelecimento de prioridades ou de mecanismos de controle de oferta, tais como os de outorga e cobrança (HESPANHOL, 2003).

Dentre as diversas soluções que têm sido propostas para reduzir o *deficit* pela demanda e suprimento de água para o uso agrícola, destacam-se: o controle e reúso da água de escoamento superficial e profundo, dessalinização de águas salinas, semeadura de nuvens, assim como reutilização de águas residuárias (RICART; RICO, 2019).

O reúso da água é definido como uma tecnologia, que consiste no conjunto de procedimentos e técnicas, realizadas de maneira combinada ou isolada, a fim de promover a reutilização da água com menor ou maior grau de tratamento (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Em diferentes partes do mundo a prática do reúso da água é bastante usual, estima-se que 6 milhões de hectares já foram irrigados usando águas residuais tratadas e, cerca de 30 milhões de hectares foram irrigados com efluentes diluídos ou não tratados. Isso representa aproximadamente 10% da área de superfície de irrigação mundial (AIT-MOUHEB *et al.*, 2018).

Na realidade brasileira, a irrigação com águas tratadas não é só uma alternativa à demanda por recursos hídricos não convencionais, mas passa a ser uma forma complementar aos tratamentos de efluentes, estes em muitos casos em condições tecnológicas insuficientes para atender aos padrões adequados de lançamentos.

Segundo Barroso e Wolff (2011), a implantação de sistemas de reúso e reciclagem de água, desde que possua viabilidade técnica e econômica, implica em benefícios ambientais, seja por aumentar a oferta de água potável e disponível nos mananciais, seja por aumentar os níveis de tratamento dos efluentes líquidos, diminuindo os lançamentos nos corpos d'água.

Além da preservação dos recursos hídricos, o reúso agrícola apresenta-se como fonte de água e nutrientes às culturas. A irrigação de culturas agrícolas com efluentes de origem orgânica não apresenta somente benefícios, há muitas outras questões a serem abordadas para ser ter segurança ao executar essa prática, dentre os principais tópicos estão: o efluente, a planta, o solo, as águas subterrâneas, a emissão de gases, o sistema de irrigação, a segurança sanitária, o mercado consumidor e a viabilidade econômica.

23.2 A legislação brasileira para reúso da água na agricultura

A água é um bem de domínio público, natural e limitado, dotado de valor econômico, que deve ser tratada de forma responsável, a proporcionar o uso múltiplo, assegurando disponibilidade e qualidade à atual e às futuras gerações (BRASIL, 1997).

No contexto da gestão dos recursos hídricos, água de reúso deve ser tratada por um arcabouço de leis e políticas públicas, a fim de promover o uso seguro e eficiente.

A primeira referência institucional que trata sobre o reúso da água no mundo é apresentada pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas em 1958, ao estabelecer uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, baseada no conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que tolerem águas de qualidade inferior”.

No Brasil, as leis que estabelecem os conceitos, diretrizes e critérios para o reúso da água, não são completas e deixam lacunas para efetiva promoção dessa prática. Para iniciar essa avaliação, será realizada uma análise das principais legislações sobre a gestão dos recursos hídricos e seu paralelo, com as resoluções sobre reúso da água, esquematizada na Figura 1.



Figura 1. Linha do tempo sobre as principais leis sobre recursos hídricos, em um paralelo às resoluções de reúso da água.

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) no Brasil foi instituída em 1997 e, desde então passa a ser o documento principal que norteia a gestão das águas no território nacional. No ano de 2000 é criada a Agência Nacional das Águas (ANA), órgão responsável por gerir os recursos hídricos no âmbito nacional. A partir de então, surgem as principais resoluções, que tratam dos usos e da qualidade dos recursos hídricos, a primeira delas é a Resolução 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água, para enquadramento, com as principais condições de lançamento de efluentes, complementada posteriormente pela Resolução 430 de 13 de maio de 2011 (Figura 1).

Uma análise inicial sobre a abordagem do reúso da água na PNRH mostra ausência de referência ao tema, ou seja, na sua elaboração, tal prática não foi considerada como instrumento a ser adotada pela Política.

Dessa forma, foi somente no ano de 2005 que a temática reúso da água passa a ser mencionada, como instrumento do uso sustentável da água, por meio da Resolução 54 de 28 de novembro de 2005 (Figura 1). Essa resolução define água de reúso como a utilização de água residuária (esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não), que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. Segundo a mesma resolução, o reúso direto pode ser definido como a condução direta da água de reúso aos locais em que serão utilizadas, sem o lançamento ou diluição em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005).

A resolução 54/2005 foi então complementada pela Resolução 121 de 16 de dezembro de 2010, na modalidade de reúso para fins agrícolas e florestais, a qual estabelece diretrizes e critérios para esta prática: Art. 5º descreve “A aplicação de água de reúso para fins agrícolas

e florestais não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e à saúde pública” (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2010).

Ambas as resoluções sobre reúso apresentam diretrizes e critérios gerais, sem apresentar instruções técnicas completas de como implementar tal prática, transferindo essa responsabilidade aos órgãos ou entidades competentes regionais (estado e/ou município).

Para exemplificar, a presença do estado no controle da prática do reúso na agricultura e assim, ampliar a compreensão do que se espera com a implementação, será abordado a seguir, a experiência do Estado de São Paulo.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição. A primeira referência da Cetesb na temática reúso da água surge em 2005 e trata sobre a Norma Técnica P 4.231 - Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, atualmente na 3ª edição (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015).

A elaboração da Norma Técnica 4.231 versa sobre a compilação de uma série de legislações federais e estaduais, que tratam sobre a conservação da vegetação nativa, das águas superficiais e subterrâneas e, do solo agrícola, além de normais técnicas. No início de cada ano, a indústria sucroalcooleira deve apresentar um Plano de Aplicação de Vinhaça (PAV) à Cetesb. O PAV deve conter um memorial descritivo sobre a aplicação pretendida, acompanhado de planta planialtimétrica com indicações das áreas de aplicação, dosagem, tanques de armazenamento, canais de distribuição, assim como a localização dos pontos de amostragem do solo e águas subterrâneas, cursos d'água e poços utilizados para abastecimento de água. Como resultado do monitoramento o PAV deve conter: (i) caracterização da vinhaça; (ii) caracterização do solo (qualidade ambiental e fertilidade); (iii) dose de aplicação baseada na necessidade da cultura (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015).

Outra fonte de consulta da Cetesb para o reúso da água, trata-se de uma orientação para apresentação de projeto, visando a aplicação de água de reúso proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) na agricultura (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006), esse documento tem grande parte baseada na Resolução 375 de 29 de agosto de 2006, sobre critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2006). Dentre os principais pontos abordados, tanto o efluente, quanto o lodo, para o contexto do reúso, consideram aspectos relacionados com: potencial agrônômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos, assim como estabilidade dos constituintes.

As instruções da Cetesb para utilização de efluente de ETE na agricultura demonstra, assim como no caso da aplicação da vinhaça, a preocupação com a conservação do solo, da vegetação nativa e das águas subterrâneas, e inclui restrições, a escolha da cultura agrícola, assim como, cuidados ocupacionais, com operador do sistema de irrigação e o potencial de contaminação da comunidade do entorno.

Fica evidente, diante do exposto, que a implantação da prática do reúso no Brasil, passa pela necessidade da criação de instruções claras e regulamentadas, para propiciar ao usuário da água de reúso na irrigação de culturas, manutenção das produtividades, assim como conservação do solo e dos recursos hídricos e, garantia de alimento seguro. A construção dos critérios mínimos e exigências técnicas para fundamentação precisa surgir da parceria e integração entre pesquisadores da área e às instituições responsáveis pela fiscalização.

23.3 Características dos efluentes tratados para a agricultura irrigada

O potencial de uso de efluentes na irrigação de culturas está relacionado pela presença de matéria orgânica biodegradável, existente em esgotos domésticos e nas águas residuárias da indústria de alimentos e da agroindústria, como também em alguns casos provenientes de atividades relacionadas aos processos e operações de produtos vegetais e animais, em propriedades rurais. A carga orgânica presente nas águas residuárias pode ser maior ou menor, em função da matéria prima processada.

A qualidade das águas é agrupada em diferentes aspectos: (i) estéticos: cor e turbidez em excesso, odor e sabor objetáveis, presença de sólidos em suspensão ou material flutuante sólido ou líquido (óleos) visíveis; (ii) fisiológicos ou organolépticos, como os sais dissolvidos e outros constituintes microbiológicos (bactérias e algas) e químicos, inorgânicos e orgânicos, que conferem a água excessiva salinidade, patogenicidade, toxicidade ou riscos à saúde se ingeridos; (iii) ecológicos, como é o caso do pH, temperatura, matéria orgânica biodegradável, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo, importantes para o equilíbrio da vida animal e vegetal nos corpos d'água (PIVELI; KATO, 2005).

Os tratamentos empregados aos efluentes, de forma biológica, também chamados de secundários, são realizados por microrganismos, podendo ter desenvolvimento na presença (aeróbios) ou ausência (anaeróbios) de oxigênio (anaeróbios), ou em ambas as condições (facultativos). Esses tratamentos apresentam-se em diferentes configurações, com a finalidade de degradar a matéria orgânica biodegradável, e assim reduzir o impacto dos lançamentos desses efluentes nos recursos hídricos (VON SPERLING, 2005).

As características dos efluentes orgânicos tratados não estão apenas relacionadas com a matéria prima, mas também ao tipo de tratamento secundário empregado. Como exemplo disso, em relação à forma de nitrogênio presente pós tratamento, predominantemente amoniacal em sistemas anaeróbios ou nítrica, em aeróbios, ou até mesmo na forma de gás (óxido nitroso), após desnitrificação.

Em muitas situações, apenas o tratamento secundário não é suficiente para atingir as condições de lançamentos exigidos pela legislação ambiental (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011). Como forma complementar, o reúso agrícola no Brasil aparece pela primeira vez em 2005, por meio da resolução CNRH 54, como prática integrante dos mecanismos de gestão dos recursos hídricos.

Parte fundamental para o processo de reúso da água na irrigação, passa pela avaliação das características físico-química e microbiológica desses efluentes. Em vasta revisão sobre o tema Norton-Brandão *et al.* (2013) elenca quatro temas a serem avaliados sobre a qualidade de efluentes domésticos para irrigação: salinidade, patógenos, nutrientes e metais pesados. Ainda a estes parâmetros, deve-se incluir o potencial de entupimento aos emissores de irrigação (BATISTA *et al.*, 2010).

Quando se propõe o reúso da água, embora esteja considerando a técnica uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos para diminuir o impacto dos lançamentos nos corpos de água, funciona como um tratamento complementar ao sistema biológico. Nos casos em que é realizado pela irrigação de culturas, será necessário prever a incidência de chuvas e o descarte dos efluentes nos rios. Dessa forma, é importante haver a possibilidade de promover o tratamento complementar dessas águas residuárias.

O tratamento complementar pode ter uma configuração *by pass*, ou seja, receberá esses efluentes somente em momentos necessários, diminuindo a quantidade de espaço ou de consumo de energia, sem perder a importante contribuição do reúso na conservação dos recursos naturais. Na tentativa de contextualizar o aproveitamento de diferentes efluentes na agricultura, a Figura 2 apresenta exemplos de diversos tratamentos e diferentes origens de águas residuárias (abatedouro, laticínios e esgoto doméstico).

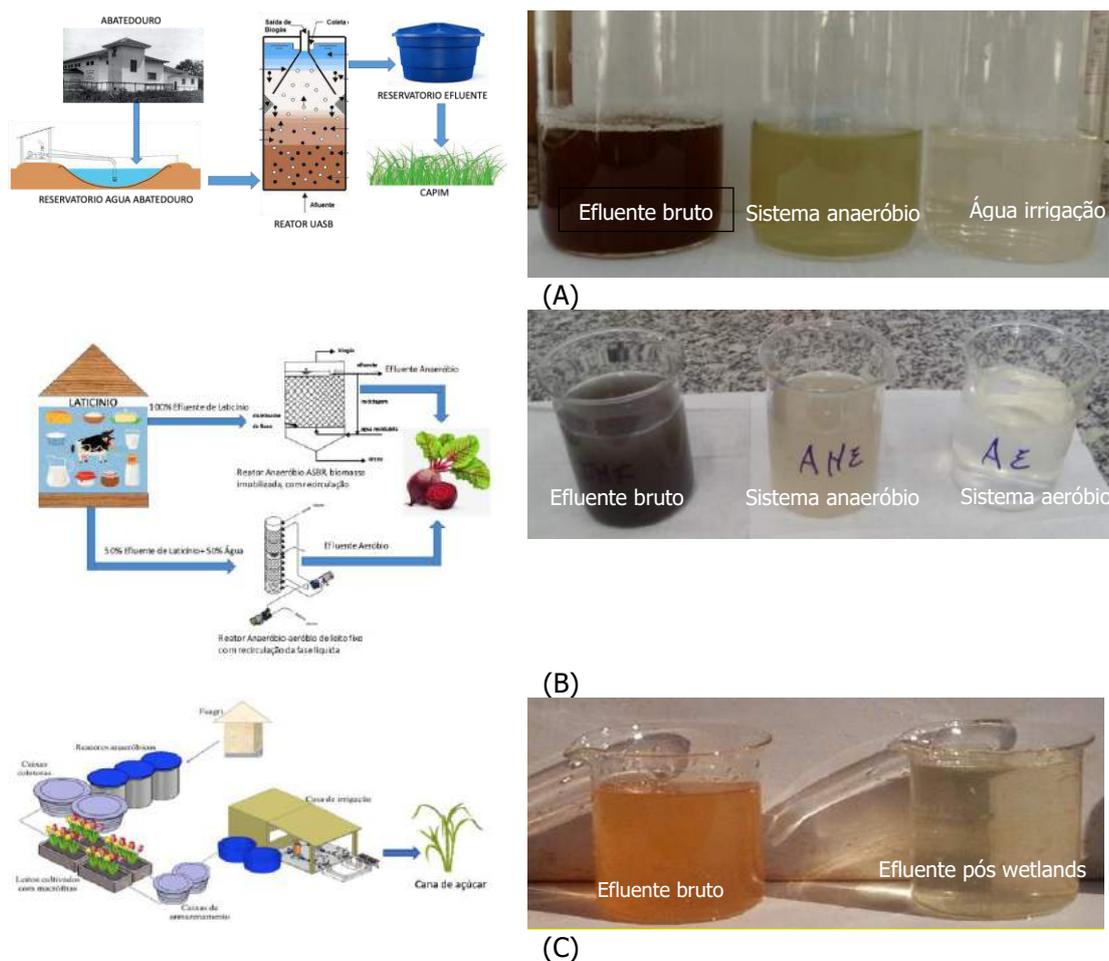


Figura 2. (A) efluente de abatedouro e tratamento anaeróbio (B) efluente de laticínio, efluente bruto, efluente tratado por sistema anaeróbio, efluente tratado por sistema anaeróbio, seguido por aeróbio; (C) efluente de esgoto doméstico e tratamento anaeróbio e *wetlands*.

Em sua totalidade, a qualidade das águas utilizadas em irrigação é determinada em função da concentração e a importância dos seus constituintes, que pode variar significativamente conforme o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. A qualidade dos efluentes terá influência direta no desenvolvimento das culturas, quando estas forem irrigadas e, conseqüentemente, na dinâmica de solutos no solo (BRITO; ANDRADE, 2010).

Uma das vantagens da irrigação com efluentes tratados é o fornecimento de nutrientes que podem ser suficientes para substituir ou, pelo menos, reduzir o uso de fertilizantes comerciais na agricultura (NOGUEIRA *et al.*, 2013). A maior contribuição dos efluentes tratados, tanto de origem doméstica, quanto agroindustrial é pela presença de macronutrientes. Para os micronutrientes o fornecimento é baixo, em alguns casos as concentrações apareceram fora dos limites de detecção, pelos métodos de análises adotados.

Apesar dos possíveis benefícios para a produtividade das culturas, a oferta excessiva de nutrientes no solo pode ter efeitos adversos. O nitrato, como exemplo, pode ser lixiviado para as águas subterrâneas, e este é um fator de grande preocupação quando se considera o uso de efluentes em solos sob condições tropicais, onde a mineralização de sua carga orgânica é rápida, causando eutrofização ou toxicidade em outros habitats (BERTONCINI, 2008).

Vale ressaltar que o excesso de nutrientes também pode perturbar as comunidades microbianas autóctones do solo (BECERRA-CASTRO *et al.*, 2015). Por exemplo, a acumulação de N inorgânico em solos pode afetar a atividade catabólica microbiana, em particular a

biodegradação de compostos de carbono recalcitrantes presentes no solo (RAMÍREZ *et al.*, 2012).

Outro ponto a ser destacado nos constituintes dos efluentes é a presença de sais, de forma geral, são provenientes dos produtos químicos para limpeza e desinfecção das instalações e, no caso da indústria de alimentos, acrescida pela salga dos produtos beneficiados.

Os efeitos adversos dos sais dissolvidos nas águas ou acumulados nos solos, na maioria dos casos, podem prejudicar o crescimento das plantas, reduzir a produção e qualidade (AYERS; WESTCOT, 1999), consequência dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico, desbalanço nutricional e efeito tóxico de íons, principalmente o cloro e o sódio (NOBRE *et al.*, 2013), assim como alterações nas propriedades físicas do solo, reduzindo a infiltração da água e prejudicando a aeração das raízes (GLOAGUEN, 2005). No ano de 2012 foi contabilizado um total de 10% de toda área irrigada do mundo, com solos salinizados, pelo acúmulo de sais provenientes das fontes de água (WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2012).

A irrigação com águas residuárias pode promover a salinização do solo, pelo aumento da concentração de sais, e/ou sodificação, este último, pelo aumento dos íons de sódio em relação aos cátions cálcio e magnésio, principalmente em condições de condutividade elétrica (CE) menores de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ (RICHARDS, 1954). O processo de sodificação leva à deterioração das propriedades físico-químicas do solo (NKOA, 2014), dentre os efeitos, a dispersão de argila e a redução na infiltração da água (SILVA *et al.*, 2014), restringindo o reúso agrícola (MATSUMOTO *et al.*, 2012).

Dentre os contaminantes das águas residuárias, ainda podemos destacar, a presença de metais pesados e os microrganismos patogênicos. Quanto aos metais pesados, não é esperada a presença, quando considerado efluentes da indústria de alimentos ou da agroindústria (ASHEKUZAMAN *et al.*, 2019), assim como no caso dos esgotos domésticos. Entretanto, no caso deste último, pode haver lançamentos clandestinos de pequenas indústrias ou oficinas localizadas nas zonas urbanas das cidades, nestes casos, o órgão fiscalizador pode solicitar análises de outros contaminantes, tais como mercúrio, arsênio, bário, berílio, cianeto, cobalto, molibdênio, prata, selênio, sulfeto, fenóis e, demais elementos, caso reconheça haver lançamento de efluentes industriais nos esgotos domésticos.

No caso da atenção à qualidade microbiológica dessas águas são utilizados indicadores que incluem os coliformes totais e coliformes fecais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006), os quais não são necessariamente patogênicos, mas podem indicar possível contaminação da água por diferentes patógenos (AZZAM *et al.*, 2016). Os coliformes, por exemplo, demonstram a qualidade higiênica geral da água e do seu risco potencial de infecções (SIVARAJA; NAGARAJAN, 2014).

A presença de microrganismos, principalmente os de origem fecal, não são removidos pelos tratamentos secundários (AL-JASSIM *et al.*, 2015). A própria inoculação de biomassa nos tratamentos biológicos pode ter origem de estações de tratamento de esgoto doméstico e introduzir contaminantes ao sistema de tratamento da indústria de alimentos. Em muitos casos, a água utilizada na irrigação, independentemente de ser de reúso, pode apresentar alto potencial patogênico às culturas irrigadas, visto que, em muitas situações são aplicadas sem qualquer tratamento prévio (ILIC *et al.*, 2012).

Os microrganismos patogênicos presentes na água de irrigação propagam no solo e podem contaminar direta e indiretamente as culturas por meio dos aerossóis formados pela irrigação por aspersão ou invadindo partes das plantas danificadas (MONAGHAN; HUTCHISON, 2012). A contaminação não acontece somente pela ingestão do produto, pode acontecer aos operadores dos sistemas de irrigação, assim como pelos aerossóis, atingindo a população do entorno.

Dessa forma a Organização Mundial da Saúde preconiza, que a aplicação de efluentes domésticos só deverá ser permitida para irrigação de: pomares, culturas que não são consumidas cruas, forrageiras, exceto para pastejo direto, áreas de reflorestamento e plantações florestais, paisagismo e campos esportivos. Nesses casos, os indicadores de microrganismos citados são coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*, e ovos de helmintos. O valor mais restritivo para os coliformes termotolerantes é para o uso da irrigação de campos esportivos e parques públicos, com exposição de trabalhador e público (<200 NMP por 100 mL) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Por fim, outro ponto a ser considerado, quando avaliado o uso de efluentes como fonte para a irrigação, é o potencial para entupimento dos emissores. Os sistemas de filtragem e o entupimento de emissores são os assuntos mais abordados quanto aos aspectos hidráulicos em irrigação com águas residuárias. Isso ocorre devido às frequentes constatações de obstruções, principalmente em gotejadores e, assim, a evidente necessidade de um sistema de filtragem mais eficiente, para diminuir a alta concentração de sólidos presentes nessas fontes. Além disso, a presença de nutrientes nessas águas pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos, aumentando o risco de obstrução dos emissores devido à formação de filmes biológicos.

Os principais constituintes considerados na avaliação do entupimento dos emissores são: Ca, Mg, Fe, H₂S, Mn, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), CE, pH e bactérias, cujas concentrações vão classificar o potencial entre baixo, moderado e alto (BUCKS *et al.*, 1979; CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Adicionalmente aos entupimentos dos emissores, há outros impactos a curto e longo prazo, normalmente menos abordados, ao realizar irrigação com águas residuárias, desde o aumento da perda de carga nas tubulações (SOUZA *et al.*, 2011), ao desgaste no rotor da bomba hidráulica (CARVALHO *et al.*, 2008). Embora muitas vezes não sejam considerados, essas modificações podem levar a erros no manejo de irrigação, causando estresse hídrico na cultura e, conseqüentemente, diminuição da produtividade da lavoura. Além disso, o emprego de água com grande quantidade de sais e alguns compostos químicos levam à diminuição da vida útil dos componentes do sistema de irrigação, sendo necessária também a realização de estudos sobre a viabilidade econômica, para o uso de efluentes na irrigação.

23.4 Produção e qualidade da cultura, estado nutricional e o solo com irrigação de efluente tratado

A manutenção da produção e da qualidade das culturas irrigadas com efluentes tratados é de fundamental importância para o sucesso do reúso agrícola. Assim como a avaliação econômica de todo sistema, visto que os custos com tratamento de efluentes, distribuição dessas águas até o cabeçal de controle dos sistemas de irrigação e filtragem podem gerar custos adicionais aos agricultores, tornando os benefícios da técnica insuficientes aos investimentos.

A produção e a qualidade das culturas irrigadas com águas residuárias têm sido estudadas por muitos pesquisadores do mundo todo, dentre os pontos mais abordados estão as limitações pela elevada presença de sais e contaminantes microbiológicos (GALVIS *et al.*, 2017). Em ambos os casos, a escolha da planta a ser cultivada é estratégica para responder à essas questões.

Nesta escolha, culturas que apresentem certa tolerância a presença de sais (SAHEBI *et al.*, 2020) e aquelas cujo processamento pós-colheita será realizado, evitando o consumo cru (HERPIN *et al.*, 2007; KAUR *et al.*, 2018), se destacam como promissoras ao cultivo.

Os resultados das pesquisas são ainda divergentes quanto à manutenção da produção e qualidade das culturas irrigadas com efluentes tratados (SHHRIVAR *et al.*, 2019),

principalmente pela variabilidade das espécies cultivadas, características dessas águas, assim como, das especificidades de cada local de cultivo, como clima e solo.

A Figura 3 apresenta experimentos de pesquisas conduzidos com diferentes culturas irrigadas com água de reúso.

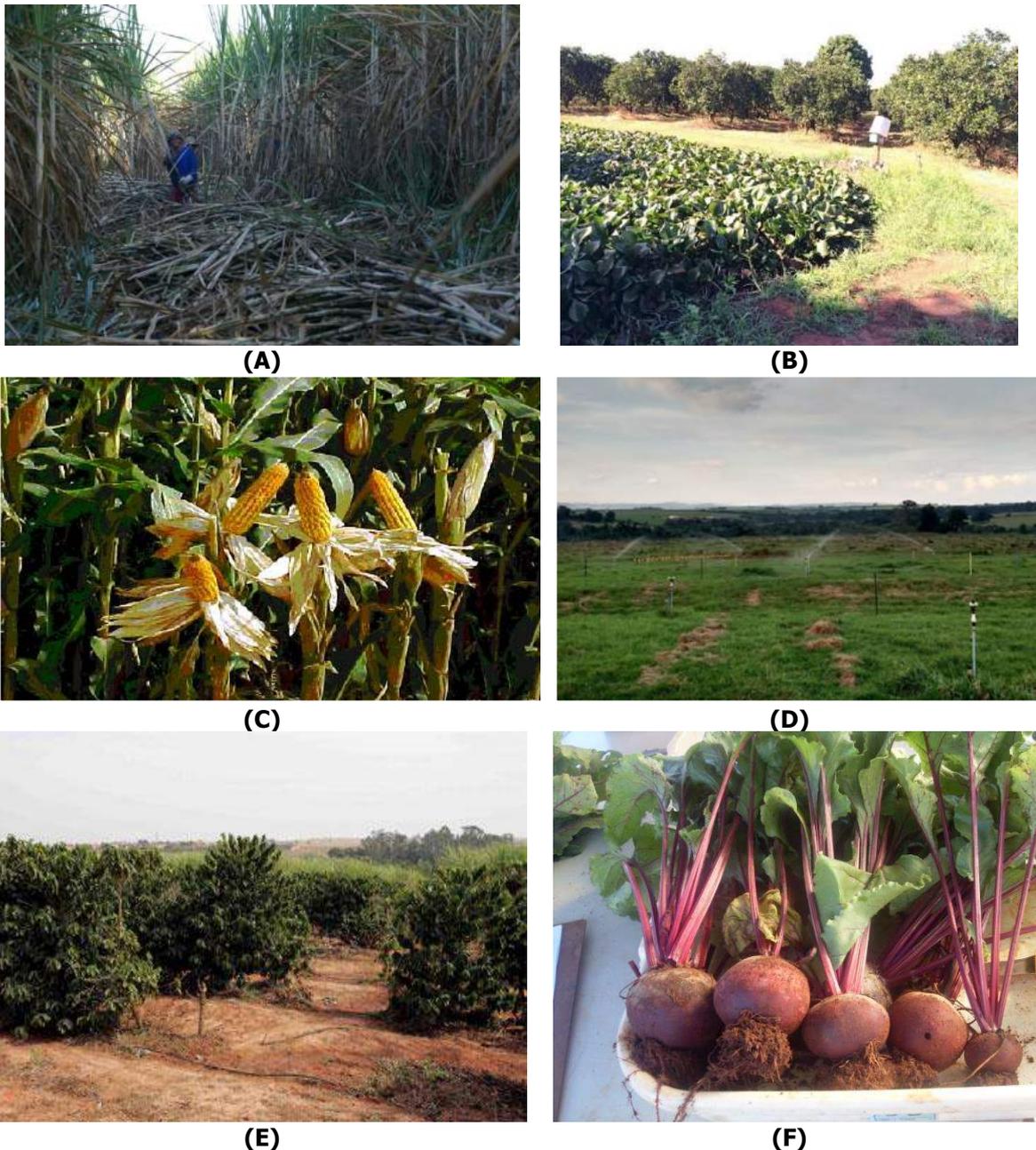


Figura 3. Culturas irrigadas com efluente tratado: (A) cana-de-açúcar - esgoto doméstico (DEON *et al.*, 2010), (B) laranja - esgoto doméstico (SANTOS *et al.*, 2016), (C) milho - esgoto doméstico (FONSECA; MELFI; MONTES, 2005), (D) capim, *coast cross* - abatedouro (MENEGASSI *et al.*, 2020), (E) café - esgoto doméstico (HERPIN *et al.*, 2007), e (F) beterraba - laticínio (GOMES *et al.*, 2015).

Muitas vezes é realizada uma avaliação equivocada por parte dos pesquisadores e usuários do reúso agrícola por, na maioria das vezes, esperarem incrementos na produção sem contabilizar os serviços ambientais prestados por essa técnica. A manutenção da produção por si só representa um grande ganho, ao considerar também como resposta à conservação dos recursos naturais, em especial, neste caso, os recursos hídricos.

Outro efeito importante, da utilização de efluentes pela irrigação na produção e qualidade das culturas, diz respeito ao aporte de nutrientes que essas águas promovem. As questões são referentes à quantidade existente e também qual a forma disponível, exigindo dos pesquisadores estudos sobre as concentrações. Há casos em que são necessárias diluições, para atender a real necessidade da cultura, sem provocar desbalanços nutricionais ou excessos no solo, que levem à lixiviação (KAUR *et al.*, 2018). Em outros, há necessidade de complementação dos nutrientes.

Além da alteração do estado nutricional das culturas, pode haver também, mudanças nas características físico-químicas e biológicas do solo.

O fornecimento de nutrientes às plantas, pela irrigação com efluentes, ocorre principalmente por nitrogênio, fósforo e potássio (PERULLI *et al.*, 2019), além da matéria orgânica, melhorando a fertilidade dos solos (MATHEYARASU *et al.*, 2016), com redução no uso de fertilizantes comerciais (TOZE, 2006).

Outro ponto a ser considerado, são as ocorrências de interações sinérgicas ou antagônicas do aporte de nutrientes às culturas (KALAVROUZITIS *et al.*, 2009). Por exemplo, o fornecimento desequilibrado de micronutrientes a longo prazo, pode levar à toxidez das plantas e degradação da qualidade do solo (PEREIRA *et al.*, 2011).

Um exemplo, sobre às interações dos nutrientes presentes nos efluentes tratados está destacado na Figura 4, referente ao nitrogênio. A presença de N na forma de nitrato aportada na solução do solo promove um sinergismo na absorção desse elemento, principalmente pelo fato de ser um ânion e não competir com outros cátions. O aumento do íon amônio na solução do solo tem um efeito inibidor na absorção de outros cátions, principalmente no caso do potássio, cujo raio hidratado é semelhante. Também é relatado que o crescimento de muitas espécies vegetais é maior na presença de NO_3^- do que do íon amônio como fonte de N, pelo efeito tóxico deste último (ANDREWS *et al.*, 2013). Estudos mostram redução na expansão foliar pelo número e tamanho das células, quando na presença de NH_4^+ (WALCH-LIU *et al.*, 2000).

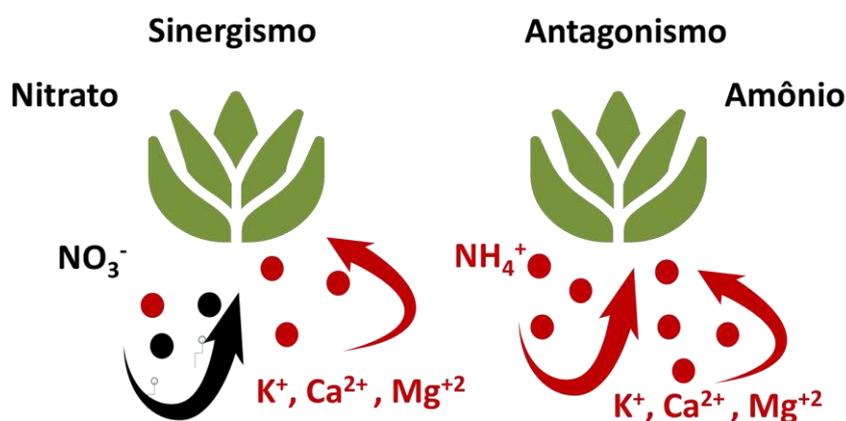


Figura 4. Esquema de interações na presença de diferentes formas de nitrogênio na solução do solo.

O uso frequente de águas residuais tratadas, com alto teor de sais, pode aumentar o risco de salinização, em especial devido ao acúmulo de sódio e cloreto, o que pode comprometer o crescimento e o rendimento dos cultivos (DRIDI *et al.*, 2017). Assim como o aumento dos íons de Na^+ em relação a outros cátions, ocasionando o processo de sodificação do solo, consequência da expansão e dispersão de argila e redução do processo de infiltração da água (GANJEGUNTE *et al.*, 2018) (Figura 5).

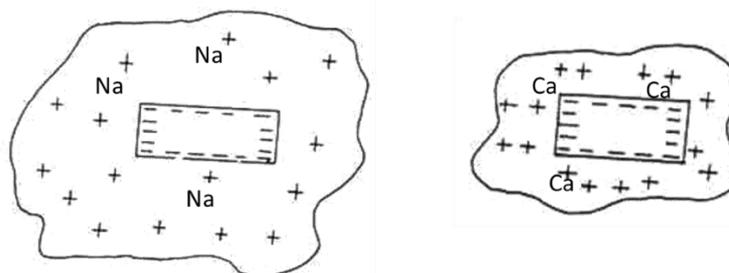


Figura 5. Atmosfera iônica de partículas coloidais do solo, saturada com íons de sódio e com íons de cálcio.

As alterações provocadas pelos efluentes no solo dependem de diferentes aspectos, por exemplo, a fonte e os tratamentos aplicados nas águas residuais e nas propriedades inerentes ao solo. Essas alterações podem afetar o pH do solo na irrigação a longo prazo e, conseqüentemente, este influencia a capacidade de troca catiônica, a disponibilidade de nutrientes e metais, assim como mineralização da matéria orgânica (ABD-ELWAHED, 2018).

Quanto às alterações biológicas no solo, a presença de elementos orgânicos e inorgânicos no efluente com alta taxa de carbono/nitrogênio estimula os microrganismos o que, por sua vez, diminui a condutividade hidráulica, por excesso de crescimento celular e produção de estruturas de biofilme, os quais entopem os espaços porosos entre as partículas do solo (MAGESAN *et al.*, 2000).

Além disso, a oferta de elementos pode ser maior do que a capacidade de absorção das culturas, levando ao processo de lixiviação e contaminação das águas subterrâneas, como é o caso do nitrato. Outro ponto está relacionado ao tempo de mineralização dos constituintes dos efluentes. Em muitas situações, pode vir em parte a ocorrer no solo, e não no tratamento, tornando-se indisponível às plantas no momento necessário (LEAL *et al.*, 2010).

Nesse contexto, a garantia de uma produção comercial, a conservação das propriedades físico-químicas e biológicas do solo e dos recursos hídricos, além da possibilidade de economia de fertilizante comercial, ao mesmo tempo que atrai o interesse dos agricultores, passa pela necessidade de validação pelas pesquisas, para garantir a sustentabilidade da prática da irrigação com efluentes.

23.5 A sustentabilidade do reúso de água na agricultura irrigada: desafios e perspectivas

A gestão sustentável dos recursos naturais é um dos grandes desafios dos países atualmente, sobretudo pelo aumento da população global e das mudanças climáticas. Em se tratando especificamente do recurso água, este se tornou um bem de consumo de alta demanda tanto para os setores de produção de alimentos, saneamento básico, como o de energia. O aumento da população humana, decorrente das migrações internas das áreas rurais para as urbanas, tem agravado o setor de alimentos na sua produção e distribuição destes à população. Desta forma, a agricultura deve ser o setor produtivo de alimentos mais afetado pelo *deficit* de água causado pelas instabilidades do clima e/ou pela má gestão do recurso hídrico.

Por outro lado, sabe-se que a urbanização e as variações climáticas têm efeitos negativos sobre o ciclo hidrológico e conseqüentemente sobre os recursos hídricos, provocando cheias naturais dos rios, afetando as ocupações do solo e conseqüentemente podendo afetar o balanço hídrico no desenvolvimento das culturas (TUCCI, 2007; MOTA, 2008).

Em se tratando de recursos hídricos fica claro a importância da conectividade das áreas urbana e rural sobre a produção e gestão da água de origem pluvial, de efluente de esgoto doméstico e das agroindústrias. A integração destas áreas permite que os sistemas de produção de alimentos sejam sustentáveis, promovendo um uso adequado dos recursos hídricos, com águas de diferentes qualidades, provenientes de diferentes fontes de abastecimento.

Em outras palavras, esta gestão permitiria que os recursos hídricos fossem compartilhados adequadamente para as indústrias, sem que afetasse o uso na agricultura irrigada. O fortalecimento da integração rural-urbana pode permitir o uso de técnicas e tecnologias mais adequadas às mudanças climáticas e ao desenvolvimento econômico sustentável.

Promover a diversificação agrícola e/ou ainda sistemas produtivos em áreas urbanas pode aumentar a segurança alimentar, promovendo o uso de mão de obra, muitas vezes inoperantes, atendendo objetivos sociais dos grandes centros urbanos. Segundo (BIZARI; CARDOSO, 2016) o uso de águas residuais em áreas urbanas e periurbanas deveria estar contemplado na política nacional de irrigação no Brasil, onde o uso específico e correto destas águas estariam suportadas pelas pesquisas e suas experimentações.

Neste sentido, seria importante explorar e investigar novas técnicas de quantificação e qualificação do uso da água, a partir de novos conceitos derivados de instrumentos mais adequados a realidade da produção de alimentos, em um ambiente sustentável. Sendo assim, a Pegada Hídrica tem se mostrado umas das técnicas recentes bastante eficiente na gestão dos recursos hídricos, na determinação mais realista do consumo de água na produção agrícola e nos sistemas alimentares futuros. Esta alternativa tecnológica, colocada em prática, pode influenciar diretamente as políticas públicas de maneira a orientar os investimentos e planejamento adequado dos recursos hídricos.

A seguir é apresentada a Figura 6 que traz uma ilustração do processo da pegada hídrica de uma bacia hidrográfica, com as entradas e saídas da água pelos componentes verde e azul, qualificando a origem das águas. Este esquema fornece uma ideia das interfaces mais importantes do "trajeto da água", da pegada hídrica na composição e/ou produção do produto.

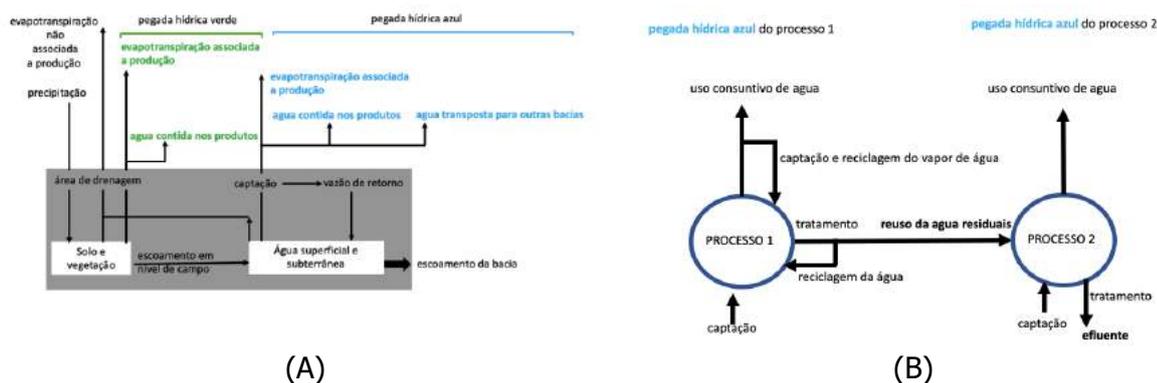


Figura 6. As pegadas hídricas azul e verde em relação ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (A) e pegada azul de água de reciclagem e reúso (B) (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Outro componente, da pegada hídrica, é a pegada cinza que é o volume de água necessário para promover a diluição dos poluentes descartados em um corpo d'água tomando como base as condições naturais do mesmo e padrões de qualidade previamente estabelecidos. Assim, este componente pode ser usado como um indicador do grau de poluição no processo corroborando na gestão da qualidade do corpo hídrico. Desta forma, o emprego

da Pegada Hídrica nas áreas urbanas e agrícolas pode ser um facilitador na gestão da água e de efluentes na produção de alimentos em um ambiente sustentável.

Uma outra ferramenta importante e, que complementa a gestão do recurso hídrico, a nível de produtores e que torna factível a produção de alimentos de forma sustentável é a certificação ambiental. Ferramenta importante no incentivo a mudanças socioambientais, pois o consumidor pode optar na hora da compra por um produto que teve um processo produtivo mais sustentável, baseado no seu histórico de produção (SOZINHO, 2014).

23.6 Considerações finais

Programas de certificação são usados para fomentar os produtores aos desafios sócio, econômico e ambiental. Para isso, existem normas e procedimentos para que estes possam se adequar as técnicas adequadas de produção, inclusive o uso racional da água na agricultura irrigada. Julgamos não menos importante, o uso de bancos de dados dos recursos naturais e dados experimentais de pesquisas de abrangência local, regional e nacional de forma integrada, guiadas pelas certificações, regras e condutas tanto para o mercado nacional e internacional, de forma que, a sustentabilidade signifique verdadeiramente ganhos sociais, econômicos e ambientais para as futuras gerações, com prazo indeterminado de vencimento.

Referências

- ABD-ELWAHED, M.S. Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. **Annals of Agricultural Sciences**, v.63, p.191-199, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: relatório pleno. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.
- AIT-MOUHEB, N.; BAHRI, A.; BEN THAYER, B.; BENYAHIA, B.; BOURRIE, G.; CHERKI, B.; CONDOM, N.; DECLERCQ, R.; GUNES, A.; HERAN, M.; KITIR, N.; MOLLE, B.; PATUREAU, D.; POLLICE, A.; RAPAPORT, A.; RENAULT, P.; RIAHI, K.; ROMAGNY, B.; SARI, T.; SINFORT, C.; STEYER, J.P.; TALOZI, S.; TOPCUOGLU, B.; TURAN, M.; WERY, N.; YILDIRIM, E.; HARMAND, J. The reuse of reclaimed water for irrigation around the Mediterranean Rim: a step towards a more virtuous cycle? **Regional Environmental Change**, v.18, p.693-705, 2018.
- AL-JASSIM, N.; ANSARI, M.I.; KRAM, HARB, M.; HONG, P.Y. Removal of bacterial contaminants and antibiotic resistance genes by conventional wastewater treatment processes in Saudi Arabia: Is the treated wastewater safe to reuse for agricultural irrigation? **Water Resource**, v.73, p.277-290, 2015. DOI 10.1016/j.watres.2015.01.036.
- ANDREWS, M.; RAVEN, J.A.; LEA, P.J. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. **Annals of Applied Biology**, v.163, p.174-199, 2013.
- ASHEKUZAMAN, S.M.; FORRESTAL, P.; RICHARDS, K.; FENTON, O. Dairy industry derived wastewater sludge: generation, type and characterization of nutrients and metals for agricultural reuse. **Journal of Cleaner Production**, v.230, p.1266-1275, 2019.
- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Tradução de GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. v.29 revisado 1 (FAO). Campina Grande: UFPB, 218p. 1999.
- AZZAM, A.M.; ISMAIL, N.M.; MOSTAFA, B.B. Impact of lining material on chemical and microbial irrigation water quality of Nubaria canal, Egypt. **Asian Pacific Journal of Tropical Disease**, v.6, p.126-132, 2016.
- BARROSO, L.B.; WOLFF, D.B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Revista Caatinga**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.3, p.225-236, 2011.

- BATISTA, R.O.; DE SOUZA, J.A.R.; FERREIRA, D.C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.1, p.18-22, 2010.
- BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A.R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA E.F.; MANAIA, C.M.; NUNES, O.C. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v.75, p.117-135, 2015.
- BERTONCINI, E.I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, p.152-169, 2008.
- BIZARI, D.R.; CARDOSO, J.C. Reuse water and urban horticulture: alliance towards more sustainable cities. **Horticultura Brasileira** (Impresso), v.34, p.311-317, 2016.
- BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional dos Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**: seção 1, p.470, 9. jan. 1997. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778-norma-pl.html>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- BRITO, R.A.L.; ANDRADE, C.L.T. Qualidade de água na agricultura e no ambiente. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.31, n.259, p.50-57, 2010.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.2, p.149-162, 1979.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in trickle/drip irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.70, p.355-365, 1998.
- CARVALHO, J.A.; AQUINO, R.F.; PEREIRA, G.M.; RODRIGUES, R.C.; CAMPOS, T.B. Desempenho de bomba centrífuga operando com água residuária do processamento do café. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.86-94, 2008.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – P4- 231**. São Paulo, 3. Ed., 15p., 2015.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. **Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura**. São Paulo, 11p., CETESB, 2006.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 357, de 18 de março de 2005; p.58-53, CONAMA, 2005.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 375, 29 de agosto de 2006, 32p., CONAMA, 2006.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, Diário Oficial da União, n.92, p.89, 16 mai. 2011.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências, CNRH,2005.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução 121, de 16 de dezembro de 2010, Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005, 2010.
- DEON, M.D.; GOMES, T.M.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010.
- DRIDI, I.; LOUATI, A.; ARFAOUI, A.; HAMROUNI, H.; GUEDDARI, M. Effects of a 25-year application of treated wastewater on soil properties of Cebala-Borj Touil irrigated perimeter (North Tunisia). Desalin. **Water Treatment**, v.83, p.281-287, 2017.
- FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent: II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron, and heavy

metals availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.36, n.13-14, p.1965-1981, 2005.

GALVIS, A.; JARAMILIO, M.F.; VAN DER STEEN, P.; GIJZEN, H.J. Financial aspects of reclaimed wastewater irrigation in three sugarcane production areas in the upper Cauca river basin, Colombia. **Agricultural Water Management**, v.209, p.102-110, 2018.

GANJEGUNTE, G.; ULERY, A.; NIU, G.; WU, Y. Organic carbon, nutrient, and salt dynamics in saline soil and switchgrass (*Panicum virgatum* L.) irrigated with treated municipal wastewater. **Land Degradation and Development**, v.29, n.1, p.80-90, 2018.

GLOAGUEN, R.A.B.G. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físico-hídricas de um latossolo**. 120p., 2005. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GOMES, T.M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.; RIBEIRO, R.; MACAN, N.P.F.; PEREIRA, R.S. Treated dairy wastewater effect on the yield and quality of drip irrigated table beet. **Applied Engineering in Agriculture**, v.31, p.255-260, 2015.

GONÇALVES, I.Z.; BARBOSA, E.A.A.; SANTOS, L.N.S.; NAZÁRIO, A.A.; FEITOSA, D.R.C.; TUTA, N.F.; MATSURA, E.E. Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. **Agricultural Water Management**, v.185, p.105-115, 2017.

HERPIN, U.; GLOAGUEN, T.V.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; MENDONÇA, F.C.; PIBELI, R.P.; BREULMANN, G.; FORTI, M.C.; MELFI, A.J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation - A pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, v.89, p.105-115, 2007.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (Org.) **Reúso de água**. Barueri, SP: Editora Manole Ltda, 579p., 2003.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. The water footprint assessment manual: setting the global standard. **Earthscan**, London, UK, 2011.

ILIC, S.; RAJIC, A.; BRITTON, C.; GRASSO, E.; WILKENS, W.; TOTTON, S. A scoping study characterizing prevalence, risk factor and intervention research, published between 1990 and 2010, for microbial hazards in leafy green vegetables. **Food Control**, v.23, n.1, p.7-19, 2012.

KALAVROUZIoTISA, I.K.; KOUKOULAKIS, P.H.; SAKELLARIOU-MAKRANTONAKIS, M.; PAPANIKOLAOU, C. Effects of treated municipal wastewater on the essential nutrients interactions in the plant of Brassica oleracea var. Italica. **Desalination**, v.242, p.297-312, 2009.

KAUR, V.; SHARMA, G.; KIRPALANI, C. Agro-potentiality of dairy industry effluents on the characteristics of *Oryza sativa* L. (Paddy). **Environmental Technology and Innovation**, v.12, p.132-147, 2018.

LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; DIAS, C.T.S.; MELFI, A.J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v.97, p.271-276, 2010.

MAGESAN, G.N.; WILLIAMSON, J.C.; YEATES, G.W.; LLOYD-JONES, A.R.H. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. **Bioresource Technology**, v.71, p.21-27, 2000.

MANCUSO, P.C.; SANTOS, H.F. **Reúso da Água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública - Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. Barueri, 2003.

MATHEYARASU, R.; BOLAN, N.S.; NAIDU, R. Abattoir wastewater irrigation increases the availability of nutrient sand influences on plant growth and development. **Water Air Soil Pollution**, v.227, n.253, p.1-16, 2016.

MATSUMOTO, E.M.; OSAKO, M.S.; PINHO, S.C.; TOMMASO, G.; GOMES, T.M.; RIBEIRO, R. Treatment of wastewater from dairy plants using Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) followed by Aerobic Sequencing Batch Reactor (SBR) aiming the removal of organic matter and nitrification. **Water Practices and Technologies**, v.7, 2012.

- MENEGASSI, L.C.; ROSSI, F.; DOMINICAL, L.D.; TOMMASO, G.; MONTES, C.R.; GOMIDE, C.A.; GOMES, T.M. Reuse in the agro-industrial: Irrigation with treated slaughterhouse effluent in grass. **Journal of Cleaner Production**, v.251, p.119698, 2020.
- MONAGHAN, J.M.; HUTCHISON, M.L. Distribution and decline of human pathogenic bacteria in soil after application in irrigation water and the potential for soil-splash-mediated dispersal onto fresh produce. **Journal of Applied Microbiology**, v.112, p.1007-1019, 2012.
- MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. Ed. Rio de Janeiro, ABES, 2008.
- NKOA, R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.34, p.473-492, 2014.
- NOBRE, R.G.; LIMA, G.S.; GHEYI, H.R.; SOARES, L.A.A.S.; SILVA, S.S.; SILVA, A.O.; LOURENÇO, G.S. Crescimento e produção da mamoneira cultivada sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.3, p.961-974, 2013.
- NOGUEIRA, S.F.; PEREIRA, B.F.F.; GOMES, T.M.; PAULA, A.M.; SANTOS, J.A.; MONTES, C.R. Treated sewage effluent: Agronomical and economical aspects on Bermuda grass production. **Agricultural Water Management**, v.116, p.151-159, 2013.
- NORTON-BRANDÃO, D.; SCHERREBERG, S.M.; VAN LIER, J.B. Reclamation of uses urban waters for irrigation purpose - a review of treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, v.122, p.185-98, 2013.
- PEREIRA, B.F.F.; HE, Z.L.; SILVA, M.S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S.F.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Reclaimed wastewater: impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, NL, n.192, v.1, p.54-61, 2011.
- PERULLI, G.D.; BRESILLA, K.; MANFRINI, L.; BOINI, A.; SORRENTI, G.; GRAPPADELLI, L.C.; MORANDI, B. Beneficial effect of secondary treated wastewater irrigation on nectarine tree physiology. **Agricultural Water Management**, v.221, p.120-130, 2019.
- PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo, ABES, 285p., 2005.
- RAMÍREZ, K.S.; CRAINE, J.M.; FIERER, N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. **Global Change Biology**, v.18, p.1918-1927, 2012.
- RICART, S.; RICO, A.M. Assessing technical land social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. **Agricultural Water Management**, v.217, p.426-439, 2019.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, USA. Salinity Laboratory. USDA, **Agriculture Handbook 60**. 160p., 1954.
- SANTOS, R.F.S.; FERREIRA, A.A.; MATSURA, E.E.; NAZARIO, A.A.; SOUZA, S.N.M. de. Effects of the application of treated domestic sewage via surface and subsurface drip irrigation on the solution and chemical properties of the soil in an orange plantation. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.49, p.5008-5013, 2016.
- SHAHRIVAR, A.A.; RAHMAN, M.M.; HAGARE, D.; MAHESHWARI, B. Variation in kikuyu grass yield in response to irrigation with secondary and advanced treated wastewaters. **Agricultural Water Management**, v.222, p.375-385, 2019.
- SAHEBI, F.G.; MOHAMMADREZAPOUR, O.; DELBARI, M.; KHASHEISIUKI, A.; RITZEMA, H.; CHERATI, A. Effect of utilization of treated wastewater and seawater with Clinoptilolite-Zeolite on yield and yield components of sorghum. **Agricultural Water Management**, v.234, p.106-117, 2020.
- SILVA, M.V.T.; LIMA, R.M.S.; OLIVEIRA, F.L.; PAULINO, S.W.; MEDEIROS, C.J.F. CE e RAS do extrato de saturação do solo sob diferentes níveis de salinidade e doses de nitrogênio no cultivo da abóbora. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal, PB, v.9, n.2, p.277-284, 2014.

SIVARAJA, R.; NAGARAJAN, K. Levels of indicator microorganisms (total and fecal coliforms) in surface waters of rivers Cauvery and Bhavani for circuitously predicting the pollution load and pathogenic risks. **International Journal of PharmTech Research**, v.6, p.455-461, 2014.

SOUZA, J.A.R.; MOREIRA, D.A.; DENÍCULI, W. Modelagem da perda de carga em tubulações comerciais, conduzindo água residuária. **Engenharia na agricultura**, v.19, n.3, 2011.

SOZINHO, D.W.F. **Potencialidades e orientações para uma maior aproximação do Estudo de Impacto Ambiental e a certificação Bonsucro das usinas do setor sucoenergético**. 257p., 2014. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2014.

THE UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **The United Nations World Water Development Report 2020: Water and climate change**. Paris, France, 2020. Disponível em: <http://www.unwater.org>. Acesso em: 13 abr. 2020.

TOZE, S. Reuse of effluent water-benefits and risks. **Agricultural Water Management**, v.80, p.147-159, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 393p., 2007.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. RES/70/1, New York, UN, 2015, Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em: 11 abr. 2020.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 3. ed., 452p., 2005.

WALCH-LIU, P.; NEUMANN, G.; BANGERTH, F.; ENGELS, C. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.227-237, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: **Wastewater use in agriculture**. Geneva, WHO, 2006.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk, Paris: UNESCO, WWAP, 2012.

CAPÍTULO 24

24 ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PARA REÚSO NA FERTIRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS EM CULTIVO CONVENCIONAL E VERTICAL

Rodrigo Máximo Sánchez Román, João Gabriel Thomaz Queluz, Tamires Lima da Silva, Kevim Muniz Ventura e Valdemiro Simão João Pitoro

Resumo

A necessidade de aumentar a produtividade agrícola em pequenas áreas rurais e, também, a necessidade de reduzir o desperdício dos recursos hídricos guiam pesquisas com intuito de desenvolver e aperfeiçoar tecnologias que busquem atender essas demandas. Neste contexto, o reúso de águas residuárias na agricultura irrigada é uma prática de extrema relevância que vem sendo estudada e difundida em diversos países, sendo que tanto a disponibilidade anual quanto a possibilidade de recuperação e reciclagem de nutrientes são benefícios diretos do reúso dessas águas na irrigação. Assim, a água residuária pode ser considerada como uma fonte alternativa de água e nutrientes para agricultura irrigada. Além disso, a produção de hortaliças em sistemas alternativos de cultivo é algo que desperta atenção nos agricultores familiares e moradores de áreas urbanas que desejam produzir o próprio alimento. Entretanto, para realizar o reúso agrícola adequado de águas residuárias é necessária a adoção de técnicas de tratamento de efluentes e de irrigação que reduzam os riscos à saúde humana. Desta forma, no presente capítulo são apresentadas soluções de tratamento de águas residuárias de baixo custo, simples operação e pouca manutenção, ou seja, sistemas adequados para a realidade socioeconômica de famílias rurais e de baixa renda. Adicionalmente, também são mostradas técnicas de cultivo de hortaliças com irrigação localizada em sistemas verticais e convencionais, sendo que são alternativas que reduzem a exposição das plantas e dos agricultores a possíveis patógenos presentes nas águas residuárias. Destaca-se, que todas as soluções tecnológicas apresentadas no presente capítulo são experiências práticas que foram desenvolvidas e avaliadas na Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Os resultados obtidos indicam que é possível realizar o tratamento de águas residuárias em comunidades rurais até níveis adequados para reúso agrícola utilizando sistemas pouco dispendiosos e, também, produzir hortaliças com qualidade microbiológica satisfatória de forma barata, fácil e utilizando pouco espaço.

24.1 Introdução

A constante disponibilidade anual de água residuária (AR) e a possibilidade de reciclagem de nutrientes são benefícios essenciais do reúso de AR na irrigação. A reciclagem de nutrientes é essencial para manter a fertilidade e produtividade do solo (CHAUHAN; KUMAR, 2020; CHERFOUH *et al.*, 2018), permitindo, também, que os agricultores reduzam ou eliminem a aplicação de fertilizantes convencionais nos seus campos de produção (JEONG *et al.*, 2016; LIBUTTI *et al.*, 2018; URBANO *et al.*, 2017).

A necessidade de aumentar a produtividade em menores áreas guia as pesquisas agropecuárias a fim de desenvolver e aperfeiçoar tecnologias que busquem atender essa demanda. A possibilidade de produzir hortaliças de forma alternativa é algo que desperta atenção nos agricultores familiares e moradores de áreas urbanas que desejam produzir o próprio alimento. Em decorrência das pesquisas e criações focadas neste tema, atualmente há

resultados de hortas em pequenos espaços como corredores, varandas, sacadas e quintais, produzindo alimentos sem o uso de agrotóxicos e reutilizando materiais alternativos e recicláveis (BRANCO; ALCÂNTRA, 2012; BISCARO, 2015). Popularmente chamado de jardim vertical, o sistema vertical de cultivo é uma técnica desenvolvida com foco na produção de culturas medicinais, hortícolas e ornamentais, principalmente em locais sem o espaço ideal para produção convencional em canteiros, e muito utilizado em projetos de extensão que buscam uma produção sustentável e orgânica (CLEMENTE, 2015). Na literatura, a estrutura para esses sistemas é construída a partir de materiais reutilizáveis como tambores de plástico, garrafas PET e pedaços de bambus. A ideia de combinar este sistema de cultivo ao reúso de AR, surge por entender-se que estruturas em tambores de plástico, garrafas PET ou pedaços de bambus podem isolar os produtores de um possível contato direto com a AR.

Para alcançar o reúso seguro de AR também é imprescindível que a implementação desta estratégia seja combinada a técnicas de tratamento e irrigação que reduzam os riscos à saúde humana. Neste sentido, a Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) vem desenvolvendo diversas pesquisas que visam identificar soluções de tratamento de AR de baixo custo, simples operação, pouca manutenção, entre outras características que as possam tornar acessíveis a famílias rurais e de baixa renda. Além disso, a irrigação localizada em sistemas verticais e convencionais de cultivo de hortaliças são alternativas que permitem a redução da possibilidade de um contato direto das plantas e dos agricultores à AR.

24.2 Sistema de desinfecção solar para águas residuárias domésticas

Sánchez Román *et al.* (2007) desenvolveram um sistema de desinfecção solar para águas residuárias domésticas, sendo que o sistema era composto por um reator de concreto de formato quadrado com 0,4 metros de profundidade e 1,5 metros de lado (Figura 1) (INPI - Patente N° UM 8702586-8).



Figura 1. Reator solar quadrado para desinfecção de efluente doméstico (SÁNCHEZ ROMÁN *et al.*, 2007).

Os resultados obtidos por Sánchez Román *et al.* (2007) indicaram que a SODIS (SODIS: *Solar disinfection*), com tempo de exposição das lâminas de águas residuárias domésticas variando de 1,22 a 4,2 dias, possibilita que efluentes domésticos sejam desinfetados até níveis adequados para reúso agrícola irrestrito. Segundo a Organização Mundial de Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006), efluentes tratados com a finalidade de reúso agrícola irrestrito, ou seja, para irrigação de culturas que serão consumidas cruas ou cultivadas nas camadas superficiais do solo, devem ter concentração de coliformes fecais ≤ 1000 NMP 100

mL⁻¹. Entretanto, os autores recomendam que o processo seja realizado em lâminas de até 0,20 metros de profundidade, ou seja, o processo é capaz de tratar pequenos volumes de efluente.

Nota-se que uma possível limitação do sistema de desinfecção desenvolvido por Sánchez Román *et al.* (2007) era o formato do reator solar. A forma estrutural quadrada, com paredes verticais perpendiculares ao fundo do reator, permitia a formação de sombras no interior do sistema, diminuindo assim, a área de efluente exposta à radiação solar que, conseqüentemente, reduzia a eficiência do processo.

Desta maneira, com o intuito de elevar a eficiência da SODIS e, assim, possibilitar o reúso agrícola seguro de efluentes domésticos, Queluz e Sánchez Román (2014) desenvolveram um reator solar com formato de tronco cônico invertido com dimensões de raio maior, raio menor e altura de, respectivamente, 1, 0,25 e 0,30 metros (Figura 2). O reator solar de tronco cônico invertido é inovador, uma vez que, tanto o formato circular quanto as paredes inclinadas maximizam a área superficial exposta à radiação, aumentando, também, o tempo diário de exposição do efluente aos raios solares. Assim, este formato estrutural permite maior aproveitamento da radiação solar diária que, conseqüentemente, aprimora a eficiência da SODIS. Destaca-se que a inclinação da parede do reator deve ser menor ou igual à latitude do local no qual a unidade será construída e, portanto, as dimensões do raio maior e do raio menor devem ser definidas cautelosamente.



Figura 2. Reator solar de tronco cônico invertido (QUELUZ; SÁNCHEZ ROMAN; 2014).

Em seu estudo, Queluz e Sánchez Román (2014) avaliaram o desempenho de três reatores solares de tronco cônico invertido tratando efluente de tanque séptico, sendo que cada reator tinha uma diferente coloração (reator controle, reator branco e reator preto) para avaliação do efeito sinérgico da temperatura. Os resultados mostraram que os efluentes dos três reatores apresentam diferentes temperaturas, entretanto as diferenças eram pequenas ($\sim 2^{\circ}\text{C}$) e não modificaram a eficiência do processo de SODIS. Além disso, os autores relataram reduções nas concentrações de *Escherichia coli* (bactéria do grupo coliforme indicadora de contaminação fecal) de até 3,5 logs com três dias de exposição do efluente do tanque séptico à radiação solar, concluindo que o sistema desenvolvido foi eficiente na desinfecção de águas residuárias domésticas. Porém, somente uma amostra apresentou padrão de qualidade adequado, conforme a recomendação da OMS para reúso agrícola irrestrito do efluente tratado (coliformes fecais ≤ 1000 NMP 100 mL⁻¹), indicando que três dias de exposição à radiação solar não foram suficientes.

Provavelmente, o excesso de matéria orgânica (concentração média: 655 mg de demanda química de oxigênio-DQO L⁻¹) e sólidos suspensos totais (concentração média: 180 mg de sólidos suspensos totais-SST L⁻¹) no efluente do tanque séptico limitou a eficiência do

reator desenvolvido por Queluz e Sánchez Román (2014). A presença de matéria orgânica pode causar redução na eficiência da SODIS, pois o material húmico tem alta capacidade de absorvância de radiação. Os sólidos suspensos também reduzem a eficiência da desinfecção, pois o material particulado absorve e limita a incidência de radiação solar, protegendo os patógenos de seus efeitos letais (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999).

24.3 Aumento da eficiência do sistema de desinfecção solar por meio da adição de doses de peróxido de hidrogênio

A fim de minimizar os efeitos da matéria orgânica e dos sólidos suspensos e, conseqüentemente, diminuir o tempo necessário de exposição do efluente à radiação solar, Alves (2015) avaliou o desempenho do reator solar de tronco cônico invertido com a adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), comercialmente conhecida como água oxigenada. Segundo a autora, o H_2O_2 é uma espécie reativa de oxigênio (ROS: *reactive oxygen species*) de vida longa, que apresenta a capacidade de se difundir para dentro das células, causando a oxidação de diferentes estruturas. Adicionalmente, o H_2O_2 pode também dar origem a outros ROS de vida curta como, por exemplo, o íon hidróxido (OH^-), que pode danificar o material genético dos microrganismos. Alves (2015) avaliou o desempenho da SODIS tratando efluente de tanque séptico utilizando cinco doses de H_2O_2 (25, 50, 75, 100 e 125 $mg\ L^{-1}$) em duas lâminas distintas (0,10 e 0,20 metros de profundidade). A Figura 3 mostra o reator solar de tronco cônico invertido operando com lâminas de 0,10 (A) e 0,20 (B) metros de profundidade.

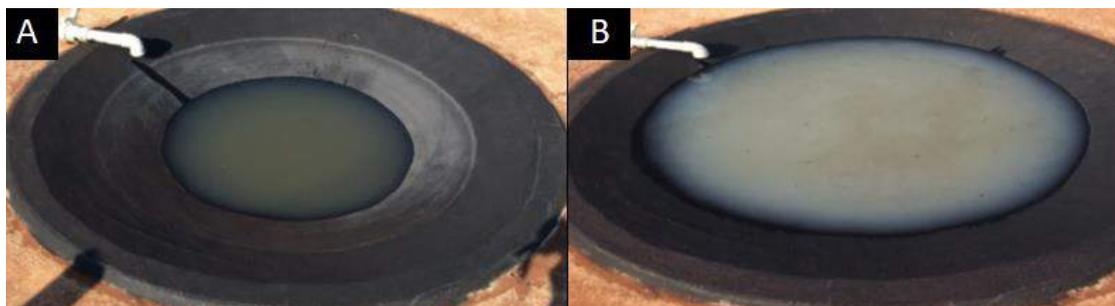


Figura 3. Reator solar de tronco cônico invertido operando com lâminas de 0,10 (A) e 0,20 (B) metros de profundidade (ALVES, 2015).

Os resultados obtidos por Alves (2015), sugerem que a adição de doses de H_2O_2 maiores do que 50 $mg\ L^{-1}$ aumentam a eficiência do processo de SODIS, fornecendo com dez horas de tempo de exposição à radiação solar, efluentes com qualidade adequada para a irrigação agrícola irrestrita (coliformes fecais $\leq 1000\ NMP\ 100\ mL^{-1}$). Segundo a autora, a combinação da dose de 125 $mg\ [H_2O_2]\ L^{-1}$ e a lâmina de 0,10 m de efluente é ideal para o processo de SODIS visando a irrigação de alimentos que serão consumidos crus. Ainda segundo a autora, também é possível utilizar a lâmina de 0,20 m no processo de SODIS com adição de H_2O_2 , porém devido ao elevado potencial de reativação bacteriana recomenda-se o uso de lâminas de 0,10 m. Destaca-se, que no trabalho de Alves (2015) a aplicação da dose de 125 $mg\ [H_2O_2]\ L^{-1}$ no reator aumentou a eficiência da SODIS, com quatro horas de exposição solar foi observada uma redução da concentração de *Escherichia coli* (*E. coli*) de aproximadamente 4 logs, fornecendo, também, efluentes adequados para a irrigação agrícola irrestrita com apenas duas horas de tempo de exposição à radiação solar. Os achados desse trabalho foram extremamente promissores, indicando que a tecnologia SODIS+ H_2O_2 permite tratar efluentes de tanque séptico até níveis adequados para irrigação agrícola, inclusive de alimentos que serão consumidos crus.

24.4 Aplicação na prática agrícola

Sales (2018) avaliou a produção agrícola e a qualidade microbiológica das culturas de salsa 'graúda portuguesa', cebolinha 'todo ano' e abobrinha 'italiana' irrigadas por gotejamento com efluente de tanque séptico desinfetado com SODIS+H₂O₂ cultivadas diretamente no solo. A SODIS era realizada em três reatores solares de tronco cônico invertido com dimensões de raio maior, raio menor e altura de, respectivamente, 1,15, 0,65 e 0,3 metros. (Figura 4). O processo de tratamento para a desinfecção era executado utilizando lâminas de 0,10 metros de efluente com a adição de 125 mg H₂O₂ L⁻¹ e tempo de exposição à radiação solar de oito horas.



Figura 4. Reatores solares (SALES, 2018).

Os dados relatados por Sales (2018) corroboram com os resultados de Alves (2015), pois mostram que os efluentes tratados nos reatores apresentaram concentrações de *E. coli* $<1 \times 10^2$ NMP 100mL⁻¹, ou seja, a tecnologia SODIS+H₂O₂ permite tratar efluentes de tanque séptico até níveis adequados para irrigação agrícola irrestrita. Entretanto, apesar do efluente estar enquadrado dentro dos padrões de qualidade recomendados pela OMS (coliformes fecais ≤ 1000 NMP 100 mL⁻¹), algumas amostras das três culturas avaliadas por Sales (2018) apresentaram concentrações de *E. coli* de até 1×10^3 NMP g⁻¹. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA determina em sua Resolução-RDC 12 (BRASIL, 2001) tolerância máxima de coliformes de 1×10^2 NMP g⁻¹ para hortaliças frescas e, portanto, vegetais com concentrações superiores de coliformes são considerados produtos em condições sanitárias insatisfatórias. Segundo Sales (2018), a presença de coliformes fecais em algumas das hortaliças produzidas está relacionada à uma possível contaminação secundária como, por exemplo, durante o trato das culturas. Além disso, destaca-se que a autora observou acréscimo considerável na produtividade das hortaliças irrigadas com o efluente dos reatores solares. Finalmente, a autora também relatou a diminuição da eficiência do sistema de irrigação, possivelmente pela presença de sólidos suspensos e matéria orgânica no efluente, entretanto, após a lavagem da fita gotejadora foi possível recuperar e eficiência do sistema.

Santos (2019) utilizou o mesmo sistema e protocolo de tratamento (tanque séptico + SODIS + 125 mg [H₂O₂] L⁻¹) descritos no estudo de Sales (2018), entretanto, em seu trabalho, avaliou o reuso agrícola do efluente, aplicado por gotejamento, na produção e qualidade sanitária das hortaliças (alface, beterraba e rabanete) semeadas diretamente no solo. De modo similar aos trabalhos de Alves (2015) e Sales (2018), o efluente tratado por SODIS+ H₂O₂ também apresentou padrão de qualidade satisfatório para reuso agrícola irrestrito (coliformes fecais ≤ 1000 NMP por 100 mL). Além disso, os resultados de Santos (2019) mostraram que as hortaliças produzidas estavam isentas de contaminação por *E. coli* (<1 NMP por 100 g), classificando-as como adequadas para o consumo cru. No entanto, a autora recomenda,

independentemente da origem da produção, a sanitização de toda hortaliça antes do seu consumo. Estes achados são de extrema relevância, pois indicam que a tecnologia SODIS+H₂O₂ permite o tratamento de efluentes domésticos até níveis adequados para reuso agrícola, permitindo, assim, a produção de alimentos em condições sanitárias satisfatórias.

Salienta-se que, apesar dos resultados obtidos com SODIS+H₂O₂ serem promissores, o uso de produtos químicos (H₂O₂) pode limitar a aplicação do processo em comunidades rurais, tanto pela falta de acesso, quanto pela condição financeira de adquirir o reagente. Portanto, para evitar o uso de H₂O₂ e maximizar a eficiência da SODIS, recomenda-se a utilização de um sistema de pré-tratamento do efluente, visando a remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica que limitam a eficiência do processo de desinfecção. Assim, considerando que áreas rurais demandam de sistemas de tratamento simples e de custo reduzido para o pré-tratamento do efluente, tecnologias como os alagados construídos, leitos biológicos filtrantes e filtros anaeróbios são opções viáveis.

24.5 Eficiência de alagados construídos no tratamento da água residuária

Queluz (2016), avaliou a eficiência de alagados construídos cultivados com taboa (*Typha latifolia*) no tratamento da AR proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu (ETE, Lageado). Cada alagado construído era constituído de quatro caixas d'água retangulares conectadas em série, preenchidas com o material suporte (brita #0) até a altura de 30 cm e saturadas com AR até a altura de 25 cm. Para avaliar a relação entre a presença de raízes e a eficiência na remoção de matéria orgânica e patógenos, diferentes densidades de taboa foram cultivadas nos alagados construídos: alagado 1 (controle) cultivado com 0 plantas m⁻², alagado 2 cultivado com 11,5 plantas m⁻² e alagado 3 cultivado com 23 plantas m⁻². O tempo de detenção hidráulica da água residuária nos alagados construídos foi de aproximadamente 2,98, 2,95 e 3,63 dias para os alagados construídos 1, 2 e 3, respectivamente (Figura 5).



Figura 5. Sistemas de alagados construídos com e sem cultivo de taboa (*Typha latifolia*) (QUELUZ, 2016).

Os alagados construídos receberam diferentes taxas de aplicação de carga orgânica em três etapas: etapa 1 = 50% AR + 50% água de abastecimento (01/11/2015 a 28/12/2015); etapa 2 = 75% AR + 25% água de abastecimento (29/12/2015 a 01/03/2016) e etapa 3 = 100% AR (02/03/2016 a 29/04/2016).

Os resultados obtidos por Queluz (2016) apontaram que a densidade de plantas não alterou a eficiência de remoção de coliformes fecais, matéria orgânica e sólidos. Considerando todas as etapas, os valores de eficiência médios encontrados foram: (i) coliformes fecais (*E.*

coli): 95,6% para o alagado 1, 96,7% para o alagado 2 e 92,3% para o alagado 3, (ii) demanda bioquímica de oxigênio-DBO: 53,8% para o alagado 1, 39,9% para o alagado 2 e 33,3% para o alagado 3, (iii) demanda química de oxigênio-DQO: 64,4% para o alagado 1, 64,5% para o alagado 2 e 65,1% para o alagado 3, e (iv) sólidos suspensos totais-SST: 91,1% para o alagado 1, 83,2% para o alagado 2 e 78,5% para o alagado 3.

Na Figura 6 são mostrados os aspectos dos afluentes e dos efluentes tratados nos alagados construídos nas três etapas do trabalho realizado por Queluz (2016). Na imagem (Figura 6) fica evidente a melhoria do efluente proporcionada pelos alagados construídos, principalmente devido à remoção de SST e DQO. Os dados obtidos por Queluz (2016) mostram que o alagado construído é um sistema ideal para o pré-tratamento de efluentes que serão desinfetados por radiação solar, pois fornecem efluentes com baixas concentrações de sólidos e matéria orgânica, viabilizando, assim, o uso eficiente da SODIS para o tratamento de AR.

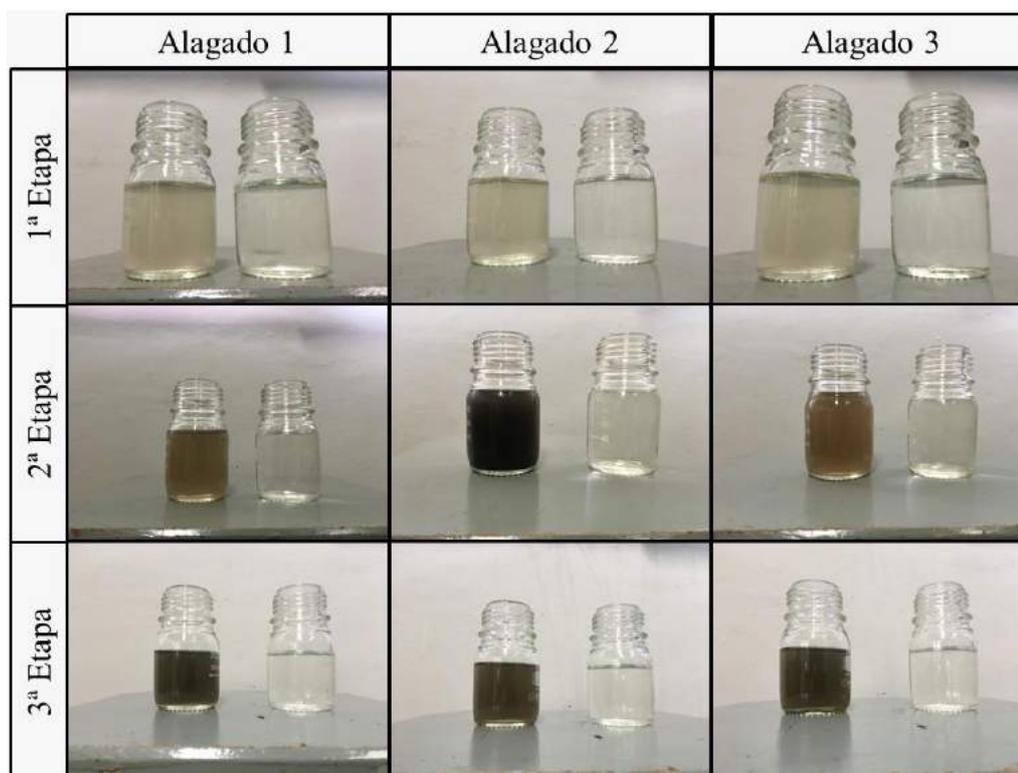


Figura 6. Aspecto dos efluentes (à esquerda) e efluentes (à direita) dos três alagados construídos nas diferentes etapas do experimento (QUELUZ, 2016).

Além disso, os dados médios relatados por Queluz (2016), para os parâmetros pH (7,3) e condutividade elétrica-CE ($396,7 \mu\text{S cm}^{-1}$), indicaram que a AR tratada pelos sistemas de alagados construídos pode ser classificada como "sem restrição" de uso para irrigação, conforme a classificação presente no guia para interpretação da qualidade da água residuária para irrigação, proposta pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação-FAO (AYRES; WESTCOT, 1985; PESCOD, 1992), e considerando a observação destes parâmetros e a concentração de SST (na faixa de 0 a 50 mg L^{-1}), a AR tratada pode ser classificada como risco baixo de entupimento de emissores, conforme a classificação proposta por Bucks, Nakayama e Gilbert (1979). Contudo, considerando todos os sistemas de alagados construídos testados, a qualidade microbiológica adequada para reúso agrícola irrestrito (recomendação da OMS de coliformes fecais $\leq 1000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$) foi observada apenas na terceira etapa do experimento. Destaca-se, que o único sistema de alagado construído que apresentou valores de concentração de coliformes fecais $\leq 1000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ em todas as etapas, foi o alagado 2, cultivado com $11,5 \text{ taboas m}^{-2}$.

24.6 Combinação do sistema de desinfecção solar com leito biológico filtrante

Silva *et al.* (2020) avaliaram a eficiência da combinação de um leito biológico filtrante (LBF) sistema de alagado construído-SAC com o reator solar de tronco cônico invertido, desenvolvido por Queluz e Sánchez Román (2014), no tratamento da AR proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu (ETE-Lageado) (Figura 7). No reator solar de coloração preta foram testadas três lâminas de AR, com profundidades de 0,10 m, 0,15 e 0,20 m e tempo de exposição à radiação solar de 10 horas (08h às 18h). Neste período de dez horas de exposição solar a cada duas horas eram colhidas amostras para análise da concentração de *E. coli*.



(A)



(B)

Figura 7. Sistema de Tratamento composto pela combinação do alagado construído do leito biológico filtrante (A) e reator solar (B) (SILVA *et al.*, 2020).

O LBF testado consistia em quatro caixas d'água retangulares de fibra de vidro iguais, com dimensões de 100 x 35 x 31 cm, que foram ligadas em série por tubulação PVC de 50 mm. Como meio suporte foi aplicado brita #0 (granulometria de 4,8 mm a 9,5 mm) até a altura de 30 cm (Figura 7A). O tempo de detenção hidráulica da água residuária no LBF foi de aproximadamente 1,06 dia. Tábuas de madeira de diferentes espessuras foram inseridas embaixo das três primeiras caixas d'água para que o escoamento da água residuária ocorresse por gravidade. Já o reator utilizado na SODIS, apresentava formato e dimensões conforme recomendações de Queluz e Sánchez Román (2014) (Figura 7B).

Nas análises da AR tratada no LBF, os autores encontraram os valores médios de 7,7 para pH, 251 mg L⁻¹ para sólidos dissolvidos totais e 481,5 μS cm⁻¹ para CE. Considerando estes parâmetros, e a classificação proposta pela FAO (AYRES; WESTCOT, 1985; PESCOD, 1992), a AR tratada foi classificada como "sem restrição" de uso para irrigação. Também, considerando a observação destes parâmetros e a concentração média de SST de 7,5 mg L⁻¹, a AR tratada pode ser classificada segundo Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) como sendo de risco baixo a moderado de entupimento de emissores.

Com relação a remoção de carga orgânica e sólidos da AR pelo LBF, que são fatores que podem influenciar a SODIS, os resultados obtidos por Silva *et al.* (2020) indicaram que o LBF foi eficiente na remoção de ambos, apresentando eficiência média de remoção de 49,3% para DBO, 84,4% para DQO, 96,8% para SST e 97,3% para turbidez. Como resultado da redução do teor de sólidos e matéria orgânica da AR tratada previamente pelo LBF, independentemente da lâmina adotada (0,10 m, 0,15 e 0,20 m), com apenas quatro horas de exposição à radiação solar no reator de tronco cônico invertido, a concentração média de coliformes fecais (*E. coli*) foi reduzida em aproximadamente 3 logs, fornecendo, água residuária tratada em acordo com a recomendação da OMS para a irrigação agrícola irrestrita (coliformes ≤ 1000 NMP por 100 mL). Os resultados desse trabalho são muito relevantes, pois demonstram que mesmo sem a adição de agentes químicos, como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), a SODIS pode ser maximizada através de combinações com opções de pré-tratamento biológicos, como o LBF.

Com a observação dos resultados médios das concentrações de nitrogênio-N (16,6 mg L⁻¹), fosforo-P (5,6 mg L⁻¹), e potássio-K (16,5 mg L⁻¹) na AR tratada pelo LBF, e considerando a necessidade hídrica no cultivo de hortaliças como o valor estimado por Alves

e Segóvia (2011) de 1,0 L s⁻¹. Silva *et al.* (2020) estimaram que para uma área de 1,0 hectare, o potencial nutricional anual da AR tratada pelo sistema SAC + SODIS na fertirrigação de hortaliças será de aproximadamente: 525,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, 175,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P e 521,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K.

24.7 Produção de hortaliças em sistema vertical de cultivo

Existem várias vantagens em se utilizar um sistema de horta vertical, como por exemplo: elevada produtividade, produção orgânica de qualidade, evitar a sazonalidade, fácil manejo, e principalmente a economia de espaço e uso de materiais reciclados. Segundo Ventura (2017) a produtividade nos sistemas verticais varia em torno de 5 a 10 vezes mais por metro quadrado quando comparada ao método tradicional de cultivo, o que significa a possibilidade de produzir mais em uma mesma área.

O manejo de hortas verticais pode ser realizado por qualquer pessoa, uma vez que, depois de instaladas, demandam pouco esforço físico - semear, irrigar, fertilizar e colher - todas estas tarefas podem ser realizadas de forma rápida e fácil. O plantio realizado em substrato e em local controlado evita problemas com plantas daninhas e caso surjam pragas, o controle poderá ser realizado por métodos naturais. Uma vez que o plantio é realizado em substrato, e em um local controlado não existe problema com plantas daninhas, e pragas podem ser controladas com meios orgânicos. Outro aspecto que deve ser destacado é o potencial das hortas verticais no meio urbano em relação ao incremento no abastecimento local, uma vez que, desde que a sociedade passou a dar valor para a pegada de carbono, houve uma valorização da produção e consumo de alimentos locais (VENTURA, 2017; PEREIRA, 2018).

24.8 Influências na produção utilizando o sistema vertical

24.8.1 Níveis de plantio

A Tabela 1 mostra os valores de produtividade média encontrados para a cultura da alface nos diferentes níveis de plantio, em duas situações: uma realizando a aplicação do biofertilizante de forma manual, de cima para baixo, e outra através da fertirrigação. É possível observar que existe uma diferença entre os níveis de plantio, houve uma maior uniformidade entre os níveis do sistema vertical devido ao uso do injetor de construção simples, desenvolvido no decorrer da pesquisa, na fertirrigação, os nutrientes foram melhor distribuídos para as plantas nos diferentes níveis resultando em uma produção mais uniforme dentro do sistema (VENTURA, 2017).

Tabela 1. Produtividade por nível do sistema vertical, para a cultura da alface para duas formas de aplicação de biofertilizante.

Nível	Produtividade (g nível ⁻¹)	
	Com fertirrigação	Sem fertirrigação
1	1002,09 a	711,71 a
2	1058,91 a	668,22 b
3	928,81 a	602,99 b
4	947,21 a	597,21 c
5	886,00 ab	336,48 d
6	879,00 b	329,18 d

*Valores seguidos pela mesma letra na coluna não difere significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (VENTURA, 2017).

24.8.2 Orientação solar

Além da cultura alface, Ventura (2017) analisou a influência da incidência solar nas hortaliças: cebolinha, salsa, chicória, rúcula e almeirão. Os resultados indicaram uma diferença significativa entre os tratamentos analisados apenas para alface, cebolinha e salsa. Por outro lado, para as hortaliças chicória, rúcula e almeirão, os parâmetros analisados não foram influenciados pela incidência solar; portanto, essas culturas podem ser produzidas eficientemente em qualquer orientação no sistema vertical como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Influência da orientação solar na massa de matéria fresca (P_u , g) e seca (P_s , g).

	Parâmetro	Orientação solar				
		Convencional	Sul	Leste	Norte	Oeste
Alface	P_u	471,7 a	359,4 ab	470,9 a	341,9 b	344,1 b
	P_s	8,0 a	4,1 b	5,1 b	3,4 b	4,3 b
Cebolinha	P_u	30,6 b	58,3 a	39,2 b	45,5 ab	58,8 a
	P_s	1,5 b	16,2 a	10,1 b	14,5 a	16,7 a
Salsa	P_u	46,1 a	25,4 bc	24,7 b	41,5 ab	46,6 a
	P_s	22,7 ab	11,9 b	13,1 b	24,8 a	28,0 a
Rúcula	P_u	20,7 a	16,8 a	9,4 a	5,3 a	15,4 a
	P_s	13,1 a	8,9 a	1,6 a	0,9 a	7,5 a
Almeirão	P_u	38,3 a	33,2 a	31,2 a	37,4 a	40,2 a
	P_s	27,8 a	23,6 a	23,4 a	25,6 a	26,4 a
Chicória	P_u	61,5 a	46,5 a	54,9 a	41,7 a	41,2 a
	P_s	44,9 a	30,9 a	39,2 a	25,4 a	27,3 a

*Valores seguidos pela mesma letra na linha não difere significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Convencional na Orientação solar, refere-se ao cultivo em canteiros (VENTURA, 2017).

Os resultados apresentados na Tabela 2, apontam que o processo fotossintético das culturas avaliadas pode ser afetado quando o nível de exposição à luz solar é alterado durante o dia, pois as diferenças entre as massas secas foram observadas em cada cultura estudada. As plantas que crescem no Leste recebem mais luz durante a manhã, onde o ambiente é mais frio, enquanto as plantas cultivadas no lado oeste do sistema recebem luz diretamente após o meio dia ao anoitecer, o que inclui o período em que a fotossíntese apresenta seus valores mais baixos (POPMA; BONGERS, 1992; HE; LEE; DODD, 2001; XU; SHEN, 2005; KOYAMA; TAKEMOTO, 2014).

24.8.3 Compostagem e adubação com biofertilizantes

Um problema atual dos grandes centros urbanos é a falta de tratamento adequado dos resíduos sólidos que pode ocasionar danos aos ecossistemas e à saúde humana. No Brasil cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos coletados são resíduos orgânicos, entretanto locais apropriados para realizar a compostagem são escassos. O processo de reciclagem de resíduos e decomposição biológica de substratos, que podem ser restos orgânicos, vegetais e animais é denominado compostagem (TEIXEIRA, 2014; ZIBETTI *et al.*, 2015).

A vermicompostagem se assemelha a compostagem tradicional, com a adição de minhocas para que o processo de reciclagem dos nutrientes aconteça através do sistema digestivo das mesmas, que digerem matéria orgânica, provocando sua degradação. Essa técnica transforma o resíduo em húmus, produto com alta concentração de nutrientes essenciais disponíveis e matéria orgânica e que pode ser utilizado de diversas formas contribuindo para um bom crescimento e desenvolvimento das plantas (ROCHA, 2015).

Ventura (2017) desenvolveu um sistema vertical em tambores plásticos com uma composteira localizada no centro do barril. A composteira é constituída de um tubo de PVC de 100 mm com furos de 2 cm distribuídos em sua extensão (Figura 8). Para o processo de vermicompostagem foram adicionados 500 gramas de minhocas gigantes africanas (*Eudrilus eugeniae*) e resíduos orgânicos obtidos em restaurantes locais e serragem de madeira.

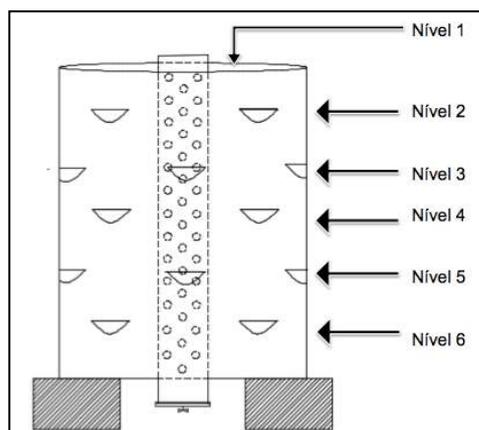


Figura 8. Desenho esquemático do sistema vertical e os respectivos níveis de plantio e composteira no centro do sistema (VENTURA, 2017).

24.8.4 Aplicação de água residuária no sistema vertical de cultivo

O cultivo vertical de hortaliças em tambores plásticos, estudado inicialmente por Ventura *et al.* (2017) com o objetivo de identificar soluções para o aumento da eficiência de uso de água de irrigação, foi testado novamente entre Março a Agosto de 2018 na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Campus da FCA em Botucatu, por Pitoro (2019) (Figura 9). A hortaliça couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. Var. *Acephala*) foi irrigada por gotejamento com AR tratada em filtros anaeróbios verticais confeccionados em tambores plásticos (Figura 10), também denominada Estação de Tratamento de Água Residuária (ETAR).

A produtividade do sistema de cultivo vertical (SCV) foi comparada ao sistema de cultivo convencional (SCC), no solo, sendo que os tratamentos estudados foram: (T₁) irrigação com 100% água residuária tratada-ART, (T₂) irrigação com 100% água potável (AP) e (T₃) irrigação com aplicação de 50% ART e 50% AP. Os SCV e SCC foram analisados em dois ciclos: ciclo 1 (sem adubação complementar) e ciclo 2 (com adubação complementar).

A Figura 11 mostra que o SCV apresentou maior produtividade em todos os ciclos, resultados que podem ser explicados pelo fato de o tambor reduzir o contato direto entre o solo (no interior do tambor) e a radiação solar, com isso, o tambor permitiu maior conservação e aproveitamento da água de irrigação pelas plantas. Observa-se também, que a produtividade foi maior nos SCV e SCC irrigados com 100% ART (T₁), evidenciando que a AR além de uma fonte alternativa de água, também é uma fonte de nutrientes essenciais. O potencial nutricional da AR (irrigação com 100% ART e 50% ART e 50% AP) permitiu um aumento da produtividade média da couve-manteiga em relação ao tratamento irrigado com 100% água potável (AP).



Figura 9. Sistema de cultivo vertical de couve-manteiga aplicando água residuária tratada por tambores em série em tratamento anaeróbio instalado no Campus da FCA-Unesp, Botucatu (PITORO, 2019).



Figura 10. Sistema de biofiltração composto por seis filtros anaeróbios verticais confeccionados em tambores plásticos (PITORO, 2019).

Pitoro (2019) também avaliou o efeito da aplicação da AR tratada sobre o desenvolvimento da couve-manteiga através da observação do número médio de folhas adultas por planta e comprimento do limbo foliar de folhas de padrão comercial. O número médio de folhas adultas por planta e o comprimento do limbo foliar de folhas de padrão comercial foram maiores no tratamento irrigado com 100% ART (T_1). Ressalta-se que a qualidade sanitária das folhas de couve-manteiga foi analisada, estando as amostras coletadas isentas de contaminação por *E. coli* (<1 NMP 100 g^{-1}), classificando-as como adequadas para o consumo conforme a Resolução-RDC 12 (BRASIL, 2001).

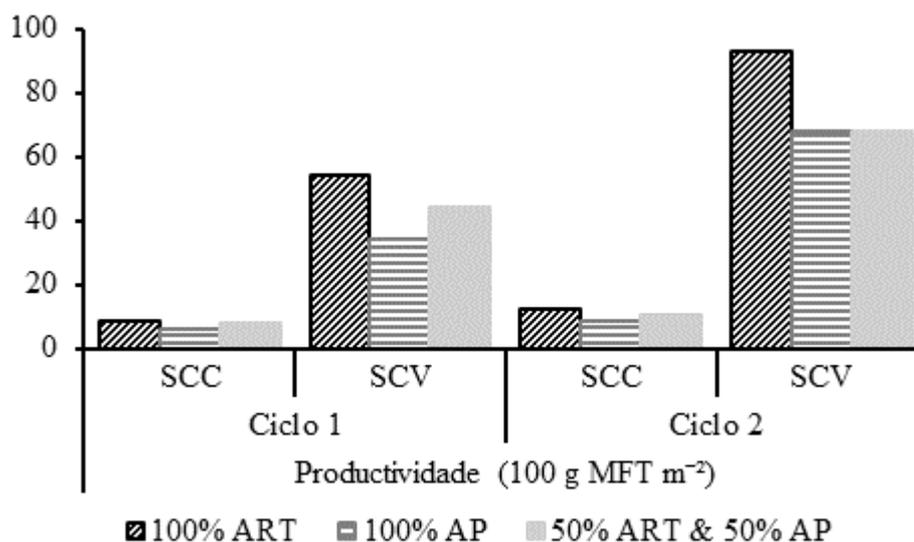


Figura 11. Resultados da produtividade de couve-manteiga no Sistema de Cultivo Vertical (SCV) e Sistema de Cultivo em Campo (SCC) (PITORO, 2019).

24.8.5 Eficiência dos filtros anaeróbios verticais confeccionados em barris plásticos no tratamento da água residuária

Pitoro (2019), avaliou a eficiência de um sistema de biofiltração com filtros anaeróbios verticais confeccionados em tambores plásticos, no tratamento da AR proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu (ETE-Lageado). O sistema de biofiltração era composto por seis filtros confeccionados em tambores plásticos de 200 litros, com 0,90 m de altura e 0,50 m de diâmetro interno (chegando a 0,54 m no centro do tambor), que foram conectados em série através de uma tubulação PVC rígido de 32 mm. Os tambores foram totalmente preenchidos com brita #1 (diâmetro médio 14 mm), sendo o nível da água mantido a 10 cm da superfície. O fluxo da AR ocorreu de forma vertical e descendente, com tempo de detenção hidráulica 4,76 dias (Figura 10).

A eficiência dos filtros anaeróbios verticais foi avaliada de fevereiro a agosto de 2018. Cinco coletas foram realizadas nos seguintes intervalos após a instalação dos filtros: 41, 70, 100, 130 e 165 dias. Os resultados médios obtidos por Pitoro (2019), apresentados na Tabela 3, indicaram que a água residuária tratada (ART) nos filtros anaeróbios pode ser classificada como "sem restrição" de uso para irrigação, conforme a classificação proposta pela FAO (AYRES; WESTCOT, 1985; PESCOD, 1992). Entretanto, considerando a recomendação da OMS de que para ser destinada ao reúso agrícola irrestrito, a AR precisa apresentar concentração de coliformes fecais ≤ 1000 NMP 100 mL^{-1} , os filtros anaeróbios verticais apresentaram qualidade em conformidade com a orientação da OMS, a partir da coleta realizada no intervalo de 70 dias após o início de operação.

A redução média de SST, DBO e DQO na ART em relação a ARB em todas amostragens realizadas ao longo da pesquisa esteve próximo de 100%, 62,9% e 96,7%, respectivamente. Estes resultados destacam o potencial dos filtros anaeróbios verticais na redução de partículas sólidas e matéria orgânica e enquadram-se na faixa provável de remoção de poluentes (representada pela DBO) prevista pela NBR 13.969 para filtros anaeróbios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1997).

Segundo a United States Environmental Protection Agency (2012), os valores de DBO da água para irrigação de culturas consumidas cruas e cozidas não deve ser superior a 10 mg L^{-1} e 30 mg L^{-1} , respectivamente. Sendo hortaliças geralmente consumidas cruas, pode-se

afirmar que o grau de restrição do reúso de ART na irrigação destas é moderado, uma vez que o valor médio de DBO estava em torno de 26,24 mg L⁻¹.

Tabela 3. Características físicas, químicas e microbiológicas de água residuária bruta (ARB) e água residuária tratada (ART), e resultados da análise estatística.

	Dias após o início de operação da ETAR					
	41 dias	70 dias	100 dias	130 dias	165 dias	Média
	CE (dS m ⁻¹)					
ARB	615,0aD	738,6aA	693,0aC	719,5aB	717,6aB	696,7
ART	590,0bD	674,3bA	630,0bB	595,0bD	611,0bC	620,1
	SST (mg L ⁻¹)					
ARB	44,3aE	512,3aD	920,3aB	737,3aC	931,0aA	629,1
ART	4,5bA	0,3bB	3,7bA	1,7bB	0,3bB	2,1
	DBO (mg L ⁻¹)					
ARB	48,0aE	54,0aD	91,0aA	87,0aB	74,0aC	70,8
ART	5,2bE	33,0bB	30,0bC	34,0bA	29,0bD	26,2
	DQO (mg L ⁻¹)					
ARB	600,8aD	445,0aE	1251,0aA	706,3aC	1000,8aB	800,8
ART	19,7bB	27,0bA	19,0bB	34,3bA	33,8bA	26,8
	NT (mg L ⁻¹)					
ARB	76,0aC	65,6aD	96,7aA	77,8aC	84,0aB	80,0
ART	21,9bA	20,4bA	25,1bA	26,0bA	25,8bA	23,8
	PT (mg L ⁻¹)					
ARB	10,6aB	13,8aA	7,9aB	13,2aA	12,7aA	11,6
ART	4,2bB	3,1bB	4,9bB	10,6bA	8,2bA	6,2
	K (mg L ⁻¹)					
ARB	80,0aB	71,5aB	76,9aB	97,6aA	84,0aB	82,0
ART	15,4bB	14,6bB	14,9bB	19,7bA	17,4bA	16,4
	Coliformes fecais (MPN por 100 mL)*					
ARB	7,42 × 10 ⁸	Ausente	1,37 × 10 ⁶	2,36 × 10 ⁶	3,36 × 10 ⁵	
ART	5200	Ausente	21	328	97	

ETAR – Estação de tratamento de água residuária, CE – Condutividade elétrica, SST – sólidos suspensos totais, DQO – demanda química de oxigênio, DBO – demanda bioquímica de oxigênio, NT – nitrogênio total, PT – fosforo total, K – potássio. Médias que não partilham a mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha são significativamente diferentes, a 1% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. *análise estatística não aplicável.

Embora os resultados de redução de nutrientes indicam que o sistema de tratamento proposto (ETAR) teve um desempenho satisfatório, a concentração de fósforo total (PT) na ART superou os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) e United States Environmental Protection Agency (2012), e o nitrogênio total (NT) esteve na faixa de restrição considerada moderada para reúso na irrigação (AYERS; WESTCOT, 1985; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006; UCKER; ALMEIDA; KEMERICH, 2012).

Pitório (2019) observou que durante a realização do seu experimento a irrigação por gotejamento com ART pelos filtros anaeróbios (ETAR) não comprometeu o desempenho do

sistema de irrigação ou alterou as características da fertilidade do solo para a maioria dos atributos químicos analisados.

24.9 Considerações finais

A atenuação da quantidade de sólidos e matéria orgânica na água residuária pelos alagados construídos proporcionou em apenas quatro horas de exposição à radiação solar no reator de tronco cônico invertido, a redução média da concentração de coliformes fecais (*E. coli*) em aproximadamente 3 logs, fornecendo, água residuária tratada adequada ao reúso agrícola irrestrito (coliformes fecais ≤ 1000 NMP 100 mL⁻¹), independentemente da lâmina adotada (0,10 m, 0,15 e 0,20 m). Portanto, os resultados obtidos comprovam que a eficiência da SODIS pode ser maximizada quando o reator solar desenvolvido por Queluz e Sánchez Román (2014), for combinado a um sistema de pré-tratamento, como, por exemplo, os alagados construídos. Consideramos importante que combinações com filtros anaeróbios verticais e alagados construídos sejam exploradas.

Os resultados obtidos indicam que os filtros anaeróbios verticais apresentaram um desempenho satisfatório e proporcionaram uma água residuária tratada com qualidade aceitável para reúso na irrigação de hortaliças, inclusive aquelas que serão consumidas cruas ou cultivadas nas camadas superficiais do solo. No entanto, aconselha-se iniciar o reúso agrícola irrestrito da água residuária tratada pelo sistema, 70 dias após o início do seu funcionamento.

É evidente a necessidade de combinar estratégias de tratamento e aplicação e/ou irrigação para melhor aproveitar os benefícios proporcionados pelo reúso da água residuária na agricultura irrigada. As formas alternativas de produzir alimentos são infinitas, e pesquisas que busquem avaliar estes sistemas devem ser realizadas a fim de possibilitar o cultivo vertical por agricultores familiares e moradores de zonas urbanas. A proposta estudada da horta vertical orgânica em tambores permite ao consumidor produzir seu alimento com qualidade, de forma barata, fácil e utilizando pouco espaço. A possibilidade de produzir até 52 plantas em cerca de 1 m² é algo que abre portas para moradores de zonas urbanas e rurais, uma vez que este alimento pode ser utilizado para consumo próprio, ou ser realizado um manejo e criado um sistema com vários tambores para comercialização e geração de renda.

Referências

- ALVES, R.M.M.; SEGOVIA, J.F.O. **Planejando a instalação de hortas**. Macapá: Embrapa Amapá, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/70683/1/7-Planejando-a-Instalacao-deHortas.pdf>. Acesso em: 1 set. 2019.
- ALVES, T.R. **Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 13969: **Tanques sépticos** - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. [s. l.], p.60, 1997.
- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, **Irrigation and Drainage Paper**, n.29, 1985.
- BISCARO, G.A. **Produção de hortaliças irrigadas em pequenas propriedades rurais**. Cassilândia: Uni-Graf, 2015.
- BRANCO, M.C.; ALCÂNTRA, F.A. **Hortas comunitárias**: experiências do Brasil e dos Estados Unidos. Brasília: 2012.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357/2005, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu

enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, [s. l.], n. 053, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução ANVISA n. 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos e seus anexos I e II. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n.7, 10 jan. 2001.

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.2, n.2, p.149-162, 1979. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774\(79\)90028-3](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(79)90028-3). Acesso em: 19 mar. 2021.

CHAUHAN, J.S.; KUMAR, S. Wastewater ferti-irrigation: an eco-technology for sustainable agriculture. **Sustainable Water Resources Management**, [s. l.], v.6, n.3, p.1-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00389-5>. Acesso em: 19 mar. 2021.

CHERFOUH, R.; LUCAS, Y.; DERRIDJ, A.; MERDY, P. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v.25, n.35, p.35571-35581, 2018.

CLEMENTE, F.M.V.T. **Produção de hortaliças para agricultura familiar**. Brasília: 2015.

HE, J.; LEE, S.K.; DODD, I.C. Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviation by root-zone cooling. **Journal of Experimental Botany**, v.52, p.1323-1330, 2001.

JEONG, H.; SEONG, C.; JANG, T.; PARK, S. Classification of wastewater reuse for agriculture: a case study in South Korea. **Irrigation and Drainage**, [s. l.], v.65, p.76-85, 2016.

KOYAMA, K.; TAKEMOTO, S. Morning reduction of photosynthetic capacity before midday depression. **Scientific Reports**, v.4, p.1-6, 2014.

LIBUTTI, A.; GATTA, G.; GAGLIARDI, A.; VERGINE, P.; POLLICE, A.; BENEDEUCE, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v.196, p.1-14, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>. Acesso em: 19 mar. 2021.

PEREIRA, J.T.S. **Produtividade de hortaliças em sistema vertical usando fertirrigação e vermicompostagem em ambiente protegido**. 53p., 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

PESCOD, M.B. Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: FAO, **Irrigation and Drainage Paper**, 47, 1992. Disponível em: <http://www.fao.org/3/T0551E/t0551e00.htm#Contents>. Acesso em: 2 set. 2019.

PITORO, V.S.J. **Tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto em filtros anaeróbios verticais para reúso na irrigação por gotejamento de couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. Var. *Acephala*)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

POPMA, J.; BONGERS, F. Acclimation of seedlings of three Mexican tropical rain forest tree species to a change in light availability. **Journal of Tropical Ecology**, 7, p.85-97, 1992.

QUELUZ, J.G.T. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

QUELUZ, J.G.T.; SÁNCHEZ ROMÁN, R.M. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. **Water Utility Journal**, Athens, v.35, n.7, p.35-44, 2014.

ROCHA, C. **Embrapa ensina como produzir minhocas e húmus em pequenas propriedades**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2439940/embrapa-ensina-como-produzir-minhocas-e-humus-em-pequenas-propriedades>. Acesso em: 8 nov. 2016.

SALES, M.A.L. **Irrigação de hortaliças utilizando efluente secundário desinfetado por radiação solar**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

- SÁNCHEZ ROMÁN, R.M.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T. de; SEDIYAMA, G.C.; DESOUZA, O.; MOUNTEER, A.H. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. *Transactions of the ASABE. American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v.50, n.1, p.65-71, 2007.
- SANTOS, R.D.S. **Reúso de água residuária tratada no cultivo de hortaliças**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
- SILVA, T.L.; SÁNCHEZ ROMÁN, R.M.; QUELUZ, J.G.T.; PITORO, V.S.J. Sistema simplificado de tratamento de água residuária doméstica para irrigação de hortaliças. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA*, Botucatu, v.25, n.2, p.315-335, 2 jun. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p315-325>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- TEIXEIRA, S. S. **Gestão sustentável dos resíduos sólidos na rede municipal de ensino de foz do Iguaçu PIC - programa de incentivo à compostagem**. 82p., 2014. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.
- UCKER, F.E.; ALMEIDA, R.A.; KEMERICH, P.D.C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, [s. l.], v.7, n.3, p.87-98, 2012. Disponível em: http://www.ambi-água.net/seer/index.php/ambi-água/article/view/925/pdf_720. Acesso em: 19 mar. 2021.
- URBANO, V.R.; MENDONÇA, T.G.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, [s. l.], v.181, p.108-115, 2017.
- USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Wastewater technology fact sheet: ultraviolet disinfection**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1999. (EPA/832/F-99/064).
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse Development**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- VENTURA, K.M.; BISPO, R.D.C.; SANTOS, R.D.D.S.; DE SOUZA, M.H.C.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Análise da uniformidade de aplicação em diferentes sistemas de cultivo com irrigação localizada. *Irriga*, [s. l.], v.1, n.1 Special Issue IRRIGA and Inovagri, p.57-63, 2017.
- VENTURA, K.M. **Eficiência do uso da água em um sistema vertical sob irrigação localizada**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Wastewater use in agriculture**. 2. ed. Switzerland: Who Library Cataloguing, 2006.
- XU, D.Q.; SHEN, Y.K. External and internal factors responsible for midday depression of photosynthesis. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of Photosynthesis**. 2. Ed. CRC Pres: Taylor & Francis Group, cap.16, p.5-12, 2005.
- ZIBETTI, V.K.; NACHTIGAL, G.F.; LIMA, D.L.; SCHIEDECK, G. Crescimento e reprodução de minhocas em misturas de resíduos orgânicos e efeitos nas propriedades químicas e microbiológicas dos húmus. *Interciência*, [s. l.], v.40, n.1, p.57-64, 2015.

CAPÍTULO 25

25 IRRIGAÇÃO E SUA FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA

Hiran Medeiros Moreira

Resumo

A água é utilizada no Brasil principalmente para irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer. Entre os seus múltiplos usos, a maior parte da água (66,1%) é utilizada na agricultura irrigada. Cerca de 9% da área agrícola brasileira é irrigada, sendo responsável por mais de 20% da produção de alimentos que consumimos, denotando a capital importância desta nobre utilidade. Em anos recentes, houve o acometimento de crise hídrica, devido a anos sucessivos com chuvas abaixo da média histórica, colocando em risco o abastecimento das regiões metropolitanas no Brasil, do Sudeste e Centro-Oeste, contexto em que o uso da água para fins de irrigação passou a ser questionado e criticado. Por isto, faz-se necessário ressaltar a fundamental importância da Irrigação, que, ao mesmo tempo, promove segurança alimentar, aumento de produtividade e riqueza, gera mais de 20 milhões de empregos (diretos e indiretos), consistindo em uma atividade crucial para o Brasil e para o mundo, também. Por outro lado, o Brasil explora pouco mais de 10% do potencial de irrigação no País, podendo ainda irrigar mais 55,85 milhões de hectares, sendo o país de maior potencial de aumento de área irrigada no mundo.

25.1 Introdução

Apesar do Brasil apresentar uma situação privilegiada em relação à disponibilidade hídrica mundial, dispondo de 13,8% da água doce do planeta (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2009), e com uma disponibilidade hídrica per capita superior à maior parte dos países do mundo, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a distribuição dessa água não é uniforme em todo o território nacional. A região amazônica é habitada por 5% da população e dispõe de 80% da disponibilidade hídrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2015), logo, apenas 20% dos recursos hídricos do país estão disponíveis nas demais regiões, com mais de 90% da população brasileira, onde ocorrem as maiores demandas pelo uso da água.

A água é um recurso de valor inestimável, essencial à vida e apresenta utilidades múltiplas como abastecimento doméstico, dessedentação de animais, irrigação, geração de energia elétrica, navegação, recreação, paisagismo, turismo, aquicultura, preservação da biota aquática, melhorias climáticas e, até mesmo, para assimilação e condução de efluentes. Estes diversos usos, muitas vezes concorrentes, desempenham funções econômicas, sociais, culturais e, até mesmo, religiosas (BERNARDO *et al.*, 2019).

No mundo aproximadamente 70 % da água captada é utilizada na Agricultura, principalmente para irrigação, 20% pela indústria, majoritariamente para produção de energia (75%) e demais para manufatura e 10% pela população (uso doméstico), com tendência a aumentar, devido ao aumento da população (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME/UNITED NATIONS WATER, 2018).

TOTAL DE ÁGUA CONSUMIDA NO BRASIL

Média anual (2018)

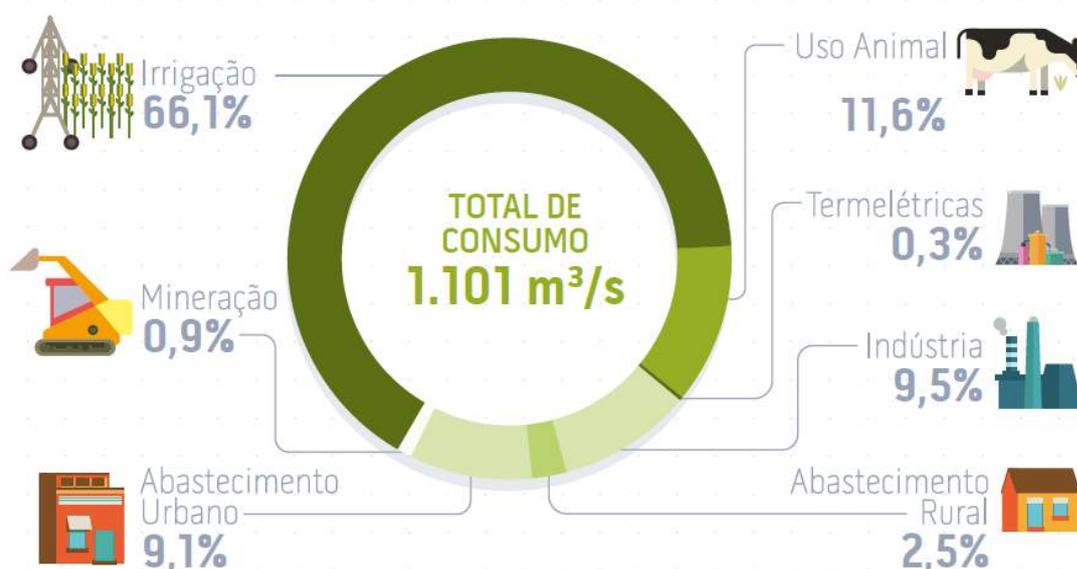


Figura 1. Distribuição da água consumida no país por setores (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2018).

No Brasil, estudos da Agência Nacional de Águas estimam que 66,1% da água é consumida para irrigação, enquanto 11,6% é utilizada para consumo animal, 2,5% para atender consumo rural, 9,1% para abastecimento urbano e 9,5% para atender a indústria (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019). Ou seja, a distribuição do uso de água no Brasil, se aproxima do que ocorre, em geral, no mundo.

Alguns dos efeitos ambientais negativos que a adoção da irrigação está sujeita a acarretar é a redução da disponibilidade hídrica local, alteração da diversidade natural dos ecossistemas aquáticos, gerando mudanças nos padrões e tempo do fluxo hidrológico, possibilidade de lixiviar fertilizantes e pesticidas para camadas profundas do solo, contaminando mananciais e, em ambientes semiáridos e áridos, a possibilidade de provocar salinização (COSGROVE; COSGROVE, 2012). No entanto, todos estes riscos podem ser mitigados com a adoção de critérios técnicos seguros, desde o sistema de outorga de uso de água até o uso de sistemas de gerenciamento de irrigação.

25.2 A crise hídrica

No Brasil, historicamente, há recorrente escassez hídrica na região do semiárido, com índices pluviométricos mais restrito, entre 200 e 800 mm/ano. No entanto, em anos recentes, a crise hídrica, que é a falta de água para abastecimento humano em grandes cidades brasileiras, tem acometido regiões metropolitanas de São Paulo, entre 2013 e 2015, e no Distrito Federal, desde o final de 2016 até 2018. Embora essas cidades situem-se em regiões de altos índices de pluviosidade anual, acima de 1200 mm/ano, elas foram atingidas por anos sucessivos com chuvas abaixo das médias históricas, somando à falta de priorização de obras de infraestrutura hídrica que preparassem para momentos de escassez de chuvas, como aconteceu, tendo promovido colapso de reservatórios de abastecimento hídrico, e seus moradores foram submetidos a estratégias de racionamento de água, ganhando importante espaço na grande mídia e vários especialistas sendo convidados a debater publicamente o tema (BRASIL, 2018).

Um dos temas abordados pela publicação Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil de 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017) são as crises hídricas causadas por secas e estiagens ou por cheias no País. É possível compreender os fatores que resultaram na crise hídrica do Semiárido, do Distrito Federal, do Sistema Cantareira (SP), do Paraíba do Sul (RJ).

Segundo o relatório, 48 milhões de pessoas foram afetadas por secas (duradoura) ou estiagens (passageiras) no território nacional entre 2013 e 2016. Neste período, foram registrados 4.824 eventos de seca com danos humanos. Somente em 2016, ano mais crítico em impactos para a população, 18 milhões de habitantes foram afetados por estes fenômenos climáticos que causam escassez hídrica, sendo que 84% dos impactados viviam no Nordeste (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

De 2003 a 2016, as secas e estiagens levaram 2.783 municípios a decretarem Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP), sendo que 1.409 cidades do Nordeste (78,5% da região) tiveram que declarar SE ou ECP (situação de emergência ou estado de calamidade pública). Destes municípios, aproximadamente metade decretou emergência ou calamidade pelo menos uma vez em sete anos diferentes. Entre 2013 e 2016, o Nordeste registrou 83% dos 5.154 eventos de secas registrados no Brasil, que prejudicam a oferta de água para abastecimento público e para setores que dependem de água para realizarem atividades econômicas, como geração hidrelétrica, irrigação, produção industrial e navegação. Naturalmente, com a necessidade de racionalizar e economizar o uso do precioso líquido voltaram-se especialmente os olhares para quem são os maiores usuários da água no Brasil, a agricultura irrigada.

25.3 Importância da agricultura irrigada

A irrigação é uma técnica milenar que, nos últimos anos, tem-se desenvolvido acentuadamente, apresentando equipamentos e sistemas para as mais distintas condições. A história da irrigação confunde-se com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos. Algumas civilizações antigas se desenvolveram em regiões áridas, onde a produção só era possível graças à irrigação. A irrigação sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e, conseqüentemente, de segurança. Desta forma, grandes civilizações há mais de 4000 mil anos se fixaram às margens dos rios Huang Ho e Iang-Tse-Kiang, no vasto império da China; do Nilo, no Egito; do Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia; e do Ganges, na Índia, surgiram e cresceram em virtude da utilização de recursos hídricos (BERNARDO *et al.*, 2019).

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas. A irrigação está no nosso cotidiano, seja nos gramados de campos de futebol e de condomínios residenciais; ou quando consumimos arroz, feijão, legumes, frutas e verduras – alimentos produzidos em grande medida sob irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

No conceito antigo, a irrigação era vista como uma técnica que visava basicamente a luta contra a seca. Em uma visão mais atual, dentro do foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade agrícola por meio do aumento da produção e da produtividade, de forma sustentável com maior geração de emprego e renda, com enfoque nas cadeias produtivas (BERNARDO *et al.*, 2019).

A irrigação promove garantia de produção de alimentos e de geração de empregos estáveis, com fortes reflexos na renda e qualidade de vida familiar, proporcionando desenvolvimento regional e aumento de oportunidades para a população rural. Todos os estudos de expansão da produção de alimentos no Brasil e no mundo tem em comum a necessidade de expansão da agricultura irrigada eficiente, que promove maior produtividade utilizando a disponibilidade hídrica existente de forma adequada, sendo potencializada pela

possibilidade de sucessão de plantios durante o ano, evitando-se a expansão desordenada das fronteiras agrícolas.

Cerca de 20% da área de produção agrícola do mundo é irrigada, o que totalizam 310 milhões de hectares, sendo responsável por mais de 40% da produção agrícola mundial (COSGROVE; COSGROVE, 2012), o que faz da irrigação uma atividade fundamental para a segurança alimentar mundial. Áreas irrigadas produzem, no mínimo, o dobro de alimentos que áreas de sequeiro e são responsáveis pela diversidade de produção e também produzindo alimentos de maior valor agregado (hortaliças, frutas e sementes).

Devido ao crescimento populacional, urbanização, e mudanças climáticas, há expectativa que se aumente a competição pelos recursos hídricos, com particular impacto na agricultura. A população mundial deverá atingir cerca de 10 bilhões de pessoas até 2050, necessitando de alimento e fibras para suprir suas necessidades básicas. Combinado a este contexto, o aumento de consumo de calorias e alimentos complexos, acompanhado pelo aumento de receita em países em desenvolvimento, fará com que a produção agrícola tenha de ser expandida em aproximadamente 70% a 80% até 2050 (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME/UNITED NATIONS WATER, 2018). Este contexto fará com que o uso de água na agricultura se intensifique e seja ainda mais importante que nos dias atuais. Com isto, haverá realocação do uso de água de áreas de baixa produtividade (adoção de baixa tecnologia), para áreas de maior produtividade (maior adoção de tecnologia), com o objetivo de produzir mais com menos água. Desta forma, cada vez mais será necessária a adoção de tecnologias que aumentem a eficiência de uso de água, tanto na adoção de sistemas de irrigação mais eficientes, bem como no uso de tecnologias para mensurar o *deficit* hídrico diário das culturas, como uso de sensores de solo, imageamento de satélite e adoção de balanço hídrico climático. O desafio poderá ser vencido com implementação de políticas governamentais que incentivem a adoção de tecnologias, através de linhas de financiamento, programas de treinamento, formação e aperfeiçoamento de profissionais que possam prover suporte técnico continuado.

25.4 Importância da irrigação no Brasil

A área agrícola brasileira é de 73,9 milhões de hectares, dos quais, 6,7 milhões são irrigados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017), o que corresponde a cerca de 9,0% da área de produção agrícola, 22% da produção e 46% do valor econômico gerado (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, *apud* RODRIGUES *et al.*, 2017), chegando a 55 bilhões de reais por ano de geração de receita (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

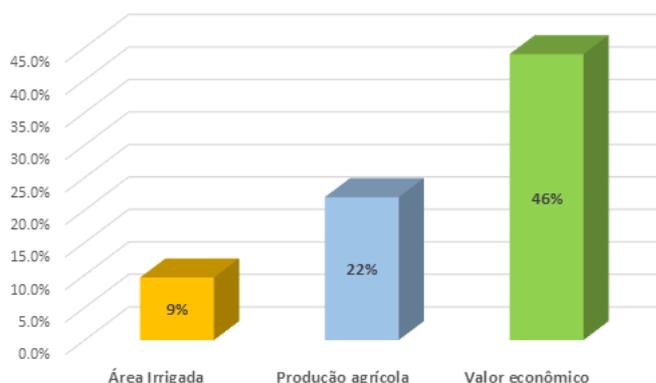


Figura 2. Informações sobre área irrigada, produção agrícola e valor econômico da agricultura irrigada em percentual da produção total (MAPA *apud* RODRIGUES *et al.*, 2017).

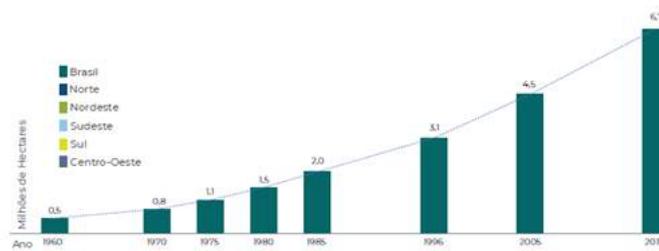


Figura 3. Evolução da área irrigada brasileira de 1960 a 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

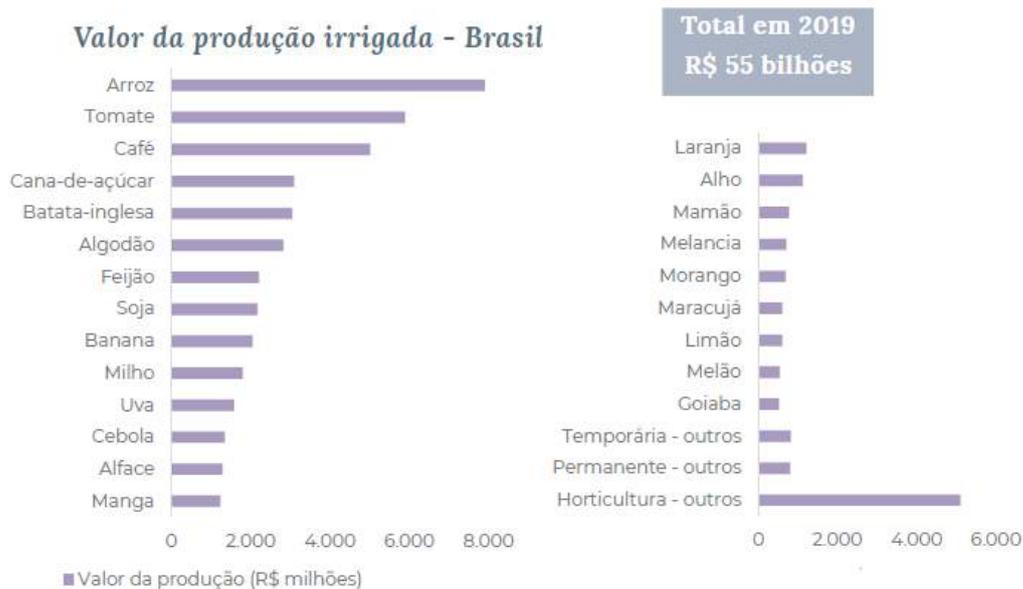


Figura 4. Valor da produção irrigada no Brasil em 2019 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Comparando-se os levantamentos realizados pela ANA, a estimativa de área irrigada atualizada anualmente pela ABIMAQ - CSEI (Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas), chega a 6,48 milhões de hectares, um pouco menor que os 6,7 milhões de hectares estimados pela ANA. No entanto, este levantamento é complementar e, por isto, também é aqui apresentado, pois distribui de forma mais detalhada as áreas por sistemas de irrigação.

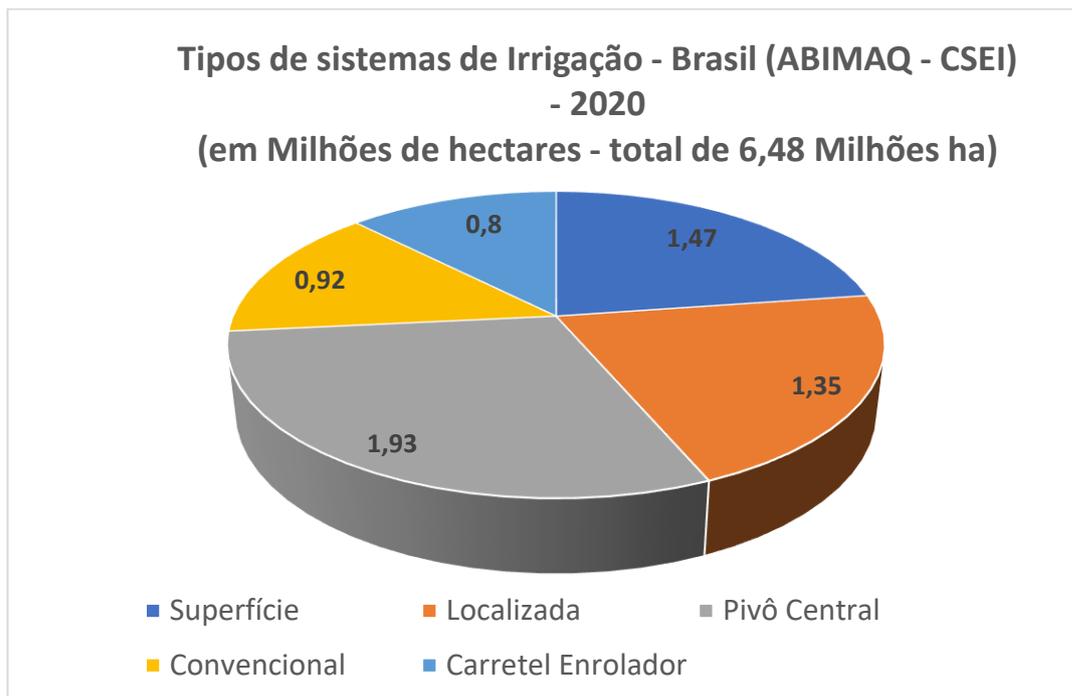


Figura 5. Distribuição da área irrigada por tipos de sistema de irrigação no Brasil (ABIMAQ/CSEI, 2020).

Um dos princípios importantes é que não há “o melhor” método ou sistema de irrigação. Existe o contexto em que cada um melhor se adapta e se aplica. Por exemplo, os sistemas de irrigação do tipo pivôs centrais, às vezes equivocadamente classificados como ineficientes, são recomendados para campos de produção em que toda a área tem de ser irrigada, como grãos (milho, feijão, soja, trigo, arroz, etc.), algodão e hortaliças (tomate, cenoura, batata, cebola, etc.). Por este motivo, tem sido o sistema de maior expansão de novas áreas irrigadas dos últimos anos. Da mesma forma, de modo geral, os sistemas de irrigação do tipo gotejamento são recomendados para irrigar culturas em que não é necessário aplicar água em toda a área, como frutas, café e também para áreas menos contínuas, propiciando melhor aproveitamento de uso da terra. Ambos os sistemas devem ser utilizados dentro de critérios técnicos e operacionais, incluindo projeto desenvolvido de modo a atender à necessidade hídrica e com capacidade de aplicação adequada de água no campo, checagens periódicas, manutenções preventivas e corretivas, de modo a garantir operação eficiente do projeto instalado.

As áreas irrigadas brasileiras contribuem de forma significativa para a regularização do fornecimento de alimentos utilizados todos os dias em nossas casas, como: arroz, feijão, milho, batata, cenoura, tomate, cebola, etc. Como na maior parte das regiões brasileiras há um período definido de estação seca (entre maio e outubro), com disponibilidade de luz e temperatura, a irrigação permite grande incremento de produtividade por hectare, melhorando o uso da terra, podendo-se produzir o ano todo, utilizando culturas de maior valor agregado e auxiliando a regularizar o preço dos alimentos que se equilibram nas dinâmicas diárias de oferta e demanda.

Estima-se que a cada 100 hectares irrigados em produção são gerados 116 empregos diretos e 172 empregos indiretos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017). Assim, a irrigação é responsável por geração de mais de 20 milhões de empregos no Brasil.

25.4.1 Brasil possui a maior fronteira para expansão da agricultura irrigada

Houve forte aumento da área irrigada no Brasil, partindo de 1,5 milhão de hectares irrigados em 1980 para 6,7 milhões de hectares em 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017), aumentando cerca de 4,5 vezes e, sobretudo adotando sistemas pressurizados mais eficientes, tipo: aspersão convencional, pivôs centrais e irrigação localizada, que hoje representam acima de 75% da área irrigada brasileira. Embora tenha tido um aumento considerável na área irrigada brasileira, estudos atualizados em 2020, realizados em cooperação pela ANA, MDR e USP/Esalq estimaram que o potencial de área irrigada adicional do Brasil é de 55,85 milhões de hectares (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

O potencial de expansão da agricultura irrigada em nível mundial é estimado pela FAO em cerca de 200 milhões de hectares (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2017). Atualmente, o Brasil explora por volta de 10% do potencial de toda a área irrigável, fazendo com que o Brasil seja o país com maior potencial de expansão da agricultura irrigada no mundo. Dessa forma, o Brasil muito ainda crescerá significativamente a área irrigada, contribuindo ainda mais para promoção da segurança alimentar mundial nos próximos anos. Considerando que nos últimos anos se tem acrescentado entre 200 e 250 mil hectares por ano, segundo dados da ABIMAQ-CSEI, chegaremos a superar 10 milhões de hectares irrigados até 2030.

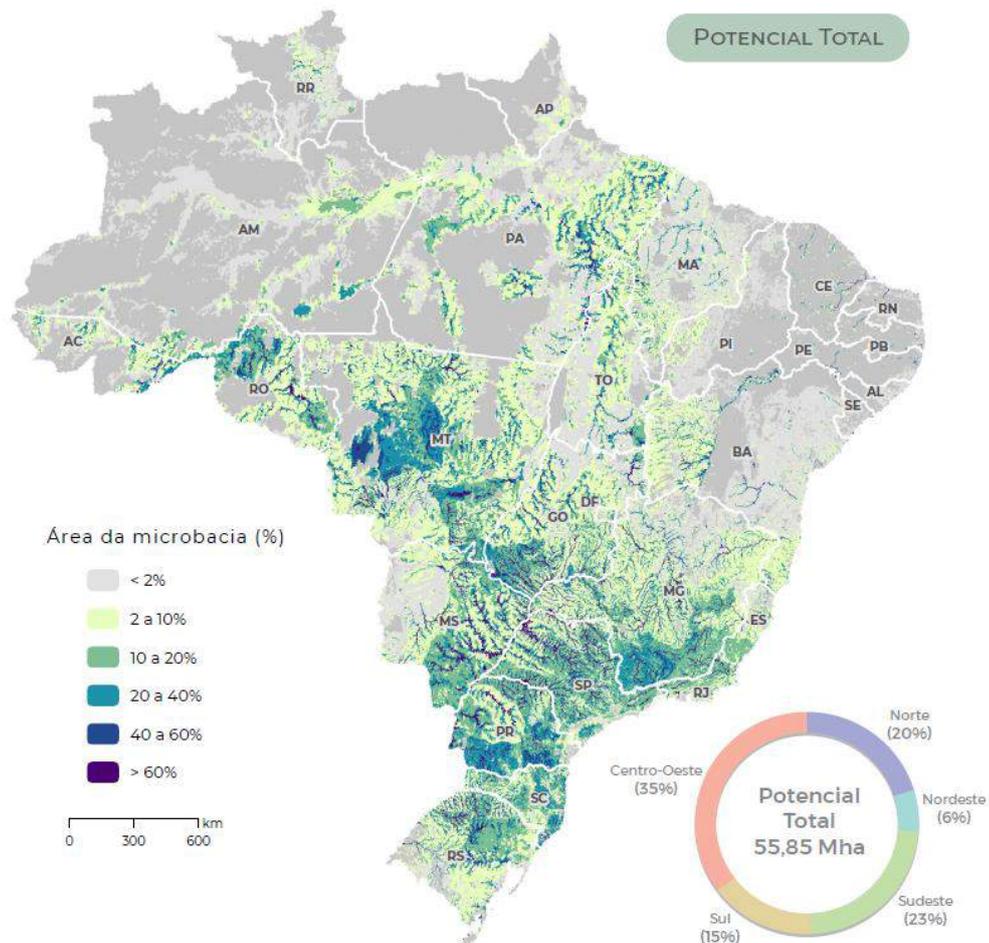


Figura 6. Potencial de área irrigada em percentagem da área da bacia hidrográfica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

Expectativa do Mapa (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) para o cenário da agricultura irrigada para 2030, considerando a continuidade de aplicação dos instrumentos indutores inseridos nos Planos Agrícolas do Mapa e implantação dos acordos de cooperação (RODRIGUES *et al.*, 2017): (i) ampliação da área irrigada dos atuais 6,95 milhões de hectares para 11 milhões de hectares, (ii) elevação da produtividade agrícola atual dos 15 principais grãos de 3,48 toneladas por hectare para 3,98 toneladas por hectare, (iii) aumento de participação da produção irrigada na produção total brasileira dos atuais 22% para 46%, (iv) aumento da participação dos produtos irrigados no valor total da produção agrícola dos atuais 44% para 56%, (v) aumento na eficiência do uso da água na irrigação em 25%, (vi) recuperação de áreas degradadas e redução da pressão dos agricultores e pecuaristas sobre novas áreas, (vii) diminuição de perdas agropecuárias pela garantia da produção sob irrigação, e (viii) redução dos preços dos alimentos e diminuição da pressão inflacionária.

25.4.2 Importância de sistemas de gerenciamento de irrigação

A agricultura irrigada induz, direta ou indiretamente, maior aporte de técnicas, tecnologias, inovações, conhecimento com desenvolvimento de capacidades, o que contribui par intensificação das práticas agrícolas, com gradativas inserções de práticas e manejo associados aos conceitos de desenvolvimento sustentável (RODRIGUES *et al.*, 2017).

O sucesso do empreendimento de irrigação depende de vários aspectos, como a qualidade do projeto, qualidade do equipamento, qualidade da implantação e, finalmente a qualidade do manejo do sistema de campo. Considerando a evolução da indústria de equipamentos e das empresas prestadoras de serviços, verifica-se que os três primeiros pontos estão ao alcance do irrigante, dependendo, é claro, do nível de investimentos. Do ponto de vista da Indústria, houve forte evolução tecnológica, disponibilizando motores elétricos e bombas que operam com maior rendimento, emissores com maior uniformidade de distribuição e que atuam sob menor pressurização, resultando em significativa economia de água e energia. Complementando, há sistemas de automação que permitem programar, controlar e otimizar o funcionamento dos sistemas irrigados. Assim, sistemas de irrigação do tipo pivôs centrais e gotejamento alcançam níveis de eficiência de aplicação de 92 a 95%, sucessivamente. Talvez o ponto que exija maiores cuidados seja o manejo da irrigação, isto é, a condução da lavoura irrigada, definindo-se de forma precisa as necessidades hídricas da cultura, como com a lâmina e a hora mais adequada de realizar a irrigação. Também se incluem aí os cuidados na avaliação, na manutenção e nos ajustes no sistema de irrigação, o controle efetivo da fertirrigação e muito outros na condução diária da cultura irrigada. (MANTOVANI *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, a expansão da área irrigada, juntamente com ocorrência de problemas relacionados à disponibilidade hídrica e o aumento do custo de energia tem promovido maior adoção de sistemas de gerenciamento de irrigação, bem como, há mais opções disponíveis no mercado de empresas com serviços especializados em gestão de irrigação. A prestação de serviços em gestão de irrigação é um mercado em consolidação, já havendo várias empresas que atuam, com histórico cada vez maior de utilização e geração de bons resultados aos irrigantes.

Os sistemas de gerenciamento de irrigação podem utilizar diferentes meios para estimar a necessidade hídrica das culturas como: uso de sondas de solo, balanço hídrico climático utilizando dados meteorológicos e apoiados por imageamento de satélite, como ferramenta complementar, plataformas digitais com aplicativos, com fluxo automatizado e integrado de informações. Todos os sistemas buscam orientar o irrigante a decidir a irrigação de forma simples, com base em critérios técnicos, de modo a atender à necessidade hídrica das culturas e, ao mesmo tempo, evitando que ocorra desperdício de água e energia. Ao mesmo tempo, promove também como outros benefícios: redução do potencial de doenças e

uso de defensivos agrícolas, redução de perdas de nutrientes do solo por lixiviação e garantindo maior produtividade e qualidade da produção.

25.4.3 A Legislação para uso de água no Brasil

É importante mencionar que o Brasil dispõe de Leis adequadas para realizar a gestão do uso da água. Entre estas Leis, a principal é a Lei 9.433 de 1997 - conhecida como "Lei das Águas", que instituiu a política nacional de recursos hídricos e criou o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, incluindo instrumentos para definir o acesso à água, como a outorga de direito de uso de recursos hídricos. O artigo 1º nos traz o entendimento do espírito desta Lei, elencando os principais fundamentos da Política Nacional. Ali há a compreensão de que a água é um bem público (não pode ser controlada por particulares) e recurso natural limitado, dotado de valor econômico, mas que deve priorizar o consumo humano e de animais, em especial em situações de escassez. A água deve ser gerida de forma a proporcionar usos múltiplos (abastecimento, energia, irrigação, indústria) e sustentáveis, e esta gestão deve se dar de forma descentralizada, com participação de usuários, da sociedade civil e do governo.

A partir da implementação da Lei das águas, foram constituídos órgãos de atuação em nível nacional (ANA) e estadual (Secretarias Estaduais de Recursos Hídricos), que vem se estruturando cada vez mais, sobretudo nos estados em que estão localizados os principais polos de irrigação. Consequentemente, há bons parâmetros e critérios para utilização sustentável da irrigação, considerando a disponibilidade hídrica em períodos críticos e os usuários localizados ao longo do curso hídrico. Instrumentos como a outorga e licenciamento ambiental para a implementação de projetos de irrigação são largamente utilizados. Esta utilização se dá, não necessariamente pela atuação dos órgãos de fiscalização, mas sim pelo interesse dos próprios irrigantes em garantir o acesso e uso futuro da água em seus projetos. Em síntese, atualmente a Lei das águas é uma lei largamente aplicada, adotada para preservar o direito e acesso à água pelos irrigantes.

Em janeiro de 2013, foi aprovada a Lei 12.787 sobre a Política Nacional de Irrigação, com diversos aspectos que definiam dispositivos e instrumentos para indução ao desenvolvimento da irrigação pública e privada. Atualmente, a instituição responsável pela formulação e condução da Política Nacional de Irrigação é o Ministério da Integração Nacional, por meio de sua Secretaria Nacional de Irrigação.

25.4.4 Irrigante produtor de água

Em vários polos de irrigação no Brasil, como o altiplano de Brasília, sudoeste de Goiás, noroeste de Minas, triângulo mineiro e sudeste de São Paulo há extensa implantação de barramentos (represas) de pequeno e médio porte por parte dos produtores, para suprir a demanda de projetos de irrigação. Neste contexto, o irrigante passa a ser "produtor" de água, uma vez que ele reserva a água da chuva, que iria para o oceano, para ser utilizada no período seco. É importante frisar que o uso de barramentos promove pequeno impacto ambiental, permite regularização da vazão de rios, multiplica o potencial de irrigação, aumenta a recarga de aquíferos e preserva o fluxo original de água do manancial.

Um exemplo típico dos benefícios que os barramentos podem proporcionar pode ser encontrado no município de Cristalina-GO, localizado no altiplano de Brasília. Atualmente, há mais de 660 pivôs centrais instalados, irrigando área superior a 57 mil hectares, constituindo no município de maior área irrigada da América latina e de maior PIB agrícola do Brasil. Para suprir a demanda de irrigação, foram construídos mais de 170 barramentos por iniciativa dos irrigantes. Com isto, no município, após mais de 30 anos desde a instalação do primeiro pivô

central, há água em abundância, podendo-se continuar expandindo a área irrigada (MOREIRA, 2015).

25.5 Considerações finais

A adoção de sistemas de irrigação eficientes e de sistemas de gerenciamento de irrigação que possam garantir a decisão de irrigação com base em critérios técnicos, podem garantir o fornecimento adequado de água às culturas, promovendo uso racional de água e energia, aumento de produtividade e de qualidade das culturas e evitando que ocorra lixiviação de nutrientes, contaminação de mananciais e do lençol freático. Em alguns casos, como na região do altiplano de Brasília e Noroeste de Minas Gerais, os irrigantes, pela construção de barramentos, passaram a estocar, ou seja, produzir a água que utilizam anualmente no período de estiagem, sendo uma prática que promove pouco impacto ambiental, por se tratar de barramentos menores que 100 hectares, auxiliam na regularização de vazão, fazem com que a água permaneça na região, ao invés de ir para o oceano e, principalmente, multiplicam a capacidade de irrigação, com sustentabilidade.

Pelos aspectos principais aqui trazidos, podemos fazer uma reflexão a respeito da importância da agricultura irrigada e do nobre uso que destinamos à maior parte da água que utilizamos e assim, poderemos ter uma visão ponderada acerca do tema e, mesmo em tempos de crise hídrica, constatarmos a sua fundamental importância e assim, procurarmos, de forma sustentável e ancorada em parâmetros técnicos, fazer a melhor gestão possível deste precioso líquido.

Referências

ABIMAQ/CSEI, 2021. Associação Brasileira da Indústria e Máquinas/ Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação. **Atualização da área irrigada no Brasil**. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009**. Brasília, DF, 204p., 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2015**. Brasília, DF, 88p., 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: 30 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**, 2. Ed. Brasília: ANA, 86 p., 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2017**. Brasília, DF, 100p., 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**, 2. Ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p.

Barragens em cristalina-go são exemplo sustentável da irrigação agrícola. Disponível em: <http://www.r4f.com.br/barragens-em-cristalina-go-sao-exemplo-sustentavel-da-irrigacao-agricola/>.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D. da; SOARES, A.A. **Manual de Irrigação**. Viçosa, MG: Editora UFV, 545p., 2019.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Estudos e notas técnicas: tema Crise hídrica**, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/fiquePorDentro/temas/crise-hidrica-mar-2018>. Acesso em: 30 mar. 2021.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei

7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.470, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 jan. 2013.

COSGROVE, C.; COSGROVE, W. **The dynamics of global water futures: driving forces 2011 - 2050**. Paris: Unesco, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The future of food and agriculture** - Trends and challenges. Rome, 2017.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. Editora UFV: Viçosa. 355p., 2009.

MOREIRA, H. M. A irrigação agrícola e sua fundamental importância. **Revista Campo & Negócios Grãos**. Edição de Abril de 2015. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/a-irrigacao-agricola-e-sua-fundamental-importancia/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

RODRIGUES, L.N.; DOMINGUES, A.F. Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. Brasília, **Inovagri**, 327p., 2017.

UNITED NATIONS WATER. 2020. Summary Progress Update 2021 - SDG 6 - water and sanitation for all. Version: 1. Geneva, Switzerland, March 2021.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME/UNITED NATIONS WATER. The United Nations World Water Development Report 2018. Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO, WWAP/UN-*Water*, 2018.

CAPÍTULO 26

26 PEQUENAS BARRAGENS NA AGRICULTURA IRRIGADA

Lineu Neiva Rodrigues e Daniel Althoff

Resumo

A baixa disponibilidade hídrica observada em várias bacias hidrográficas do Brasil, aliada ao aumento da demanda tem dificultado e, em alguns casos, comprometido a expansão de áreas irrigadas, podendo comprometer a sustentabilidade na produção de alimento e a qualidade de vida de comunidades rurais. Pequenas barragens desempenham papel estratégico, servindo como reservatórios que fornecem água para os diversos usos, aumentando a disponibilidade hídrica durante o período de estiagem. As barragens são estruturas de fundamental importância no manejo de recursos hídricos, pois servem, entre outras coisas, para regularizar as vazões e reduzir as incertezas hídricas. Para otimizar o seu uso, entretanto, devem, de preferência, ser planejadas pensando-se nos usos múltiplos de suas águas. É importante, dessa forma, ter estratégias adequadas para o seu gerenciamento. As barragens, quando bem planejadas, construídas e gerenciadas são estruturas fundamentais para reduzir as incertezas relacionadas com as baixas disponibilidades hídricas. São indispensáveis sempre que a vazão disponível em um curso de água for, em algum momento, menor que a quantidade demandada. A não observância da legislação vigente, antes e durante a construção de uma barragem, pode trazer implicações legais diversas ao proprietário, como, por exemplo, a interdição da obra e multas que variam de acordo com o tamanho do empreendimento. Um aspecto importante que deve também ser observado é a outorga de direito de uso da água, que tem o objetivo de assegurar o direito de acesso à água. Estabelecida pela Lei 9.433, de 1997, a outorga é o ato legal que define os volumes de água que podem ser captados por cada um dos usuários existentes na bacia. Os usos das águas das barragens devem ser organizados. Por causa do aumento da complexidade do processo de tomada de decisão em situações de usos múltiplos e de diversos usuários, aliado ao crescente aumento da demanda, faz-se necessário cada vez mais utilizar ferramentas e estratégias robustas de gerenciamento. Para se alocar e construir novos reservatórios, entretanto, é fundamental se ter maior conhecimento dos diferentes processos que interferem na dinâmica de água em pequenos reservatórios, em especial a evaporação e a infiltração.

26.1 Introdução

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica está diretamente associada à pluviometria da região. Durante os períodos de seca, ocorre redução da vazão dos rios, o que pode favorecer, caso não haja um planejamento adequado, o surgimento de conflitos pelo uso da água.

A retenção e o armazenamento de água constituem na maneira mais realista de garantir um fornecimento seguro e contínuo do recurso de forma a atender às diversas demandas hídricas ao longo do tempo. Entre as formas de armazenamento existentes, a barragem é uma das mais utilizadas. Uma barragem, também denominada de represa ou reservatório de água, é uma barreira construída transversalmente à direção do escoamento de um curso de água, com a finalidade de acumular ou elevar seu nível (Figura 1).

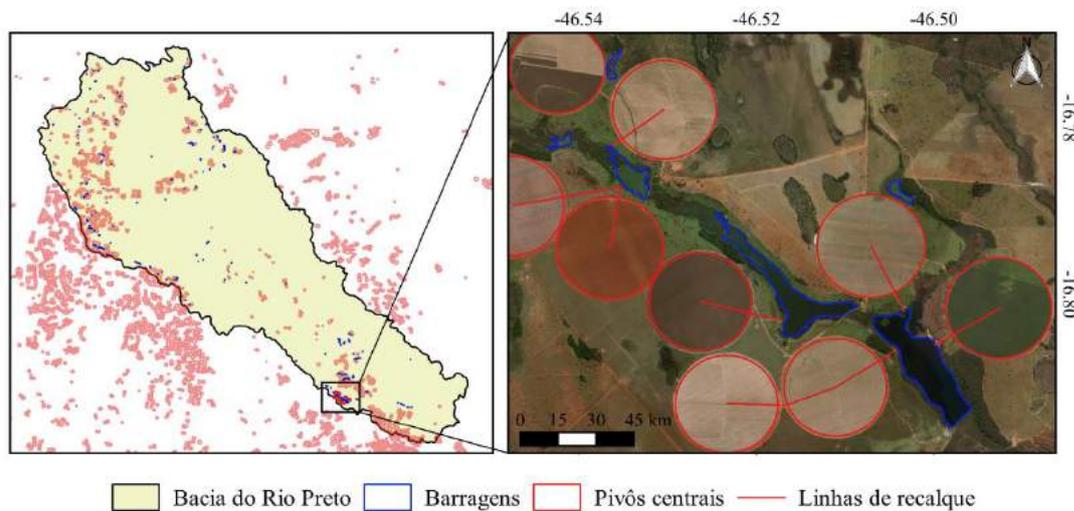


Figura 1. Aproveitamento de água reservada em pequenas barragens por pivôs centrais localizados na bacia do Rio Preto. Sistema de referência de coordenada: SIRGAS 2000.

As pequenas barragens são infraestruturas que se destinam a regularizar a oferta hídrica para atender a uma ou várias atividades. Elas armazenam o excesso de água durante a estação chuvosa para suprir o *deficit* hídrico durante a seca, quando a demanda é geralmente maior que a oferta. Em regiões onde a disponibilidade hídrica é muito variável durante o ano, as pequenas barragens são estruturas essenciais para viabilizar a prática da irrigação e, conseqüentemente, manter a qualidade de vida das pessoas no meio rural.

Calcula-se que existam cerca de 800.000 barragens, de todos os tamanhos e tipos, construídas em todo o mundo (WORLD COMMISSION ON DAMS, 2000). Destas, estima-se que 300.000 estejam no Brasil (MENESCAL; MIRANDA; PITOMBEIRA, 2004). Estes mesmos autores comentam que somente em 2004 mais de 300 barragens, de diversos tamanhos, tenham se rompido, e ressaltam que as barragens envelhecem e, como todas as outras obras, têm prazo de vida útil que somente pode ser prolongado com esforços especiais de manutenção e de recuperação de seus mecanismos e estruturas.

A definição de pequena barragem, com base na altura e no volume de água armazenado, é variável. Por exemplo, para a Comissão Mundial de Represas as barragens com altura, contada a partir da sua base, igual ou maior a 15 metros, assim como aquelas com altura entre 5 e 15 metros e um volume de reservatório superior a três milhões de metros cúbicos, são consideradas grandes. Já no estado de Nevada, Estados Unidos, uma barragem é considerada pequena quando sua altura é menor que seis metros e a capacidade do reservatório menor ou igual a 1.233,5 m³.

Nos últimos anos, no Cerrado brasileiro, por exemplo, região que representa 24% do território brasileiro, sendo o segundo maior bioma do Brasil e uma região de alta relevância para a agricultura e pecuária do país (KLINK, 2014), diversas bacias hidrográficas têm sofrido com a expansão de áreas irrigadas, o que tem contribuído para aumentar os conflitos pelo uso de água (MANETA *et al.*, 2009). Neste contexto, as pequenas barragens desempenham papel estratégico, aumentando a disponibilidade hídrica durante o período de estiagem. A construção de pequenos reservatórios nessas regiões tem contribuído significativamente para viabilizar a irrigação, o desenvolvimento econômico e o bem-estar social da população (RODRIGUES *et al.*, 2012). Todavia, o impacto causado por essas estruturas no sistema hídrico precisa ser mais bem quantificado e considerado nos planos de recursos hídricos (ROSENBERRY *et al.*, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2012).

Apesar da sua relevância estratégica, os impactos ambientais causados principalmente por reservatórios mal dimensionados têm dificultado a construção de novas barragens em

várias regiões do Brasil. Os problemas de dimensionamento são, na sua maior parte, devido à falta de informação. Assim, é cada vez mais importante gerar informações que subsidiem a alocação e construção de novos reservatórios na região, sendo para isso crucial compreender melhor o comportamento das diferentes variáveis que interferem na dinâmica de água de um pequeno reservatório. Os volumes de água armazenados por pequenas barragens dependem das relações, ao longo do tempo, entre as ofertas hídricas, as perdas e as demandas. A evaporação e a infiltração são as principais formas de perdas, sendo crucial que sejam adequadamente estimadas.

O impacto no comportamento hidrológico de uma bacia advindo da implantação de uma única pequena barragem pode não ser significativo, mas a influência na hidrologia da bacia devido a construção de centenas dessas pequenas barragens é algo que merece ser considerado e estudado.

O Governo do Distrito Federal, por exemplo, planejava aumentar a área irrigada na região por meio da construção novos pequenos barramentos na bacia do Rio Preto. Segundo Maldaner (2003), os programas e projetos governamentais que estão sendo implantados nessa bacia visam principalmente a redução dos conflitos estabelecidos devidos a expansão da irrigação. Dentre esses projetos destaca-se o Projeto de Aproveitamento Hidroagrícola da bacia do Rio Preto, publicado em 2001 pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Distrito Federal. O projeto prevê a construção de 26 pequenos barramentos, com capacidade total de regularização de $18,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo prevista a utilização de cerca de $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para irrigação, o que possibilitaria a expansão da área irrigada em 7.630 hectares (GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2001).

O problema é a falta de informações técnicas sobre as barragens já existentes e o impacto que elas causam na bacia como um todo, o que dificulta o processo de tomada de decisão no que diz respeito ao planejamento e gestão dos recursos hídricos nesta bacia hidrográfica e da escolha do melhor local onde as novas barragens deveriam ser construídas.

Antes de se construir novas barragens em uma bacia, deve-se, primeiramente, levantar as características físicas daquelas já existentes. O estudo da geometria das pequenas barragens e o estabelecimento de relações área-volume e cota-volume das barragens já construídas são fundamentais para o adequado entendimento da influência destas infraestruturas no comportamento hidrológicos da bacia e na identificação dos melhores locais para se construir novas barragens.

Grande parte dessas barragens não apresenta qualquer informação técnica e existe uma carência de monitoramento, que, em geral, tem custo financeiro elevado. Este fato aliado ao aumento da demanda hídrica para fins agrícolas e a necessidade de melhorar a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas indicam a necessidade de desenvolvimento de métodos que contribuam para se ter um manejo da água de pequenas barragens mais efetivo, colaborando para que as comunidades rurais possam enfrentar de maneira mais racional os períodos críticos, como os de redução da disponibilidade hídrica, garantindo a produção e a qualidade de vida das comunidades rurais.

Rodrigues *et al.* (2007) avaliaram a distribuição espacial de pequenas barragens na bacia do Rio Preto, afluente do Rio Paracatu. As barragens foram identificadas utilizando-se cenas do satélite Landsat ETM+. Considerou-se pequena barragem toda barragem com área do espelho d'água variando entre 1 e 40 ha.

Esses mesmos autores comentam que nos últimos anos centenas de pequenas barragens foram construídas na bacia do Rio Preto e ressaltam que: (i) tanto as de domínio público quanto as particulares foram construídas de forma independente e em épocas diferentes, com nenhuma ou muita pouca integração entre as agências responsáveis pela sua construção, (ii) a maioria delas foi construída avaliando-se apenas as condições locais, isso é,

não considerando que uma barragem está hidrológicamente interligada com a outra por meio do curso de água que foi represado, (iii) vários desses pequenos reservatórios estão operando em condições inadequadas, estando sub ou superdimensionados, (iv) a manutenção dessas barragens é precária, com risco de ruptura e prejuízos aos usuários, e (v) na maioria dos casos observados, não há vegetação às margens das barragens, o que favorece a ocorrência de erosão e o assoreamento, com redução da capacidade de armazenamento de água.

Essas estruturas, quando planejadas para atender a múltiplos usos e usuários, estão sujeitas a conflitos pelo uso do recurso água, sendo necessário realizar um gerenciamento mais robusto. Para que isto seja feito de forma segura é importante que haja um melhor conhecimento das variáveis associadas à dinâmica de variação da água na barragem. Historicamente, a ação do poder público brasileiro, na gestão dos recursos hídricos, optou por mecanismos de alocação de água com base em parâmetros técnicos, em conceitos econômicos ou em dinâmicas sociais. Essa atuação pode ser caracterizada pela abrangência regional ou setorial, pela desarticulação com outras políticas públicas e pela reduzida participação social nas decisões. Com a implementação das novas políticas de recursos hídricos estaduais e nacional, na década de 1990, o equacionamento de conflitos pelo uso da água no Brasil passou a ser objeto de modelos alternativos de gestão e de alocação de água, de caráter participativo (LOPES; FREITAS, 2007).

Para que a gestão de água nas pequenas barragens e na bacia possa ser feita de forma confiável é fundamental que se tenha informações técnicas sobre as características desses reservatórios. Essas informações, em geral, apresentam custo elevado e são trabalhosas de se obter. Na sequência, apresentam-se algumas informações básicas que podem servir de referência para outros estudos.

26.2 Identificação e estabelecimento de relações entre cota e área-volume de pequenas barragens

O primeiro passo nos estudos de gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas com a presença de pequenos reservatórios consiste em se fazer um amplo levantamento dessas barragens. O sensoriamento remoto orbital apresenta-se como uma técnica de grande potencial de uso no planejamento e gestão dos recursos hídricos, podendo ser utilizado para identificação de pequenas barragens (RODRIGUES *et al.*, 2012).

Para identificação das barragens existentes na bacia, pode-se utilizar, por exemplo, cenas do satélite Landsat ETM+. A escolha das cenas deve-se basear em critérios, tais como: (i) data de passagem do satélite mais próxima do final da estação chuvosa, quando o nível de água das barragens está próximo do seu máximo; e (ii) ausência de nuvens. De posse das imagens, realiza-se as etapas de registro, mosaicagem e recorte da área de estudo.

Pode-se aproveitar as imagens para se estimar a área do espelho de água do reservatório. Um dos problemas que podem surgir quando da confecção do contorno do espelho d'água da barragem com base na imagem de satélite é a dificuldade em associar os pixels que compõem o contorno da barragem a uma categoria específica, ou seja, associar um determinado pixel como água ou como solo e vice-versa. Essa dificuldade está associada com a resolução espacial do satélite. No caso específico do Landsat ETM+, a resolução espacial é de 30 metros. Quanto menor a área da barragem, maior será o erro cometido por associar um determinado pixel da imagem a uma categoria a que ele não pertence. A dificuldade em associar os pixels da imagem a uma determinada categoria é ainda maior quando existe vegetação exuberante ao redor e/ou no interior da barragem.

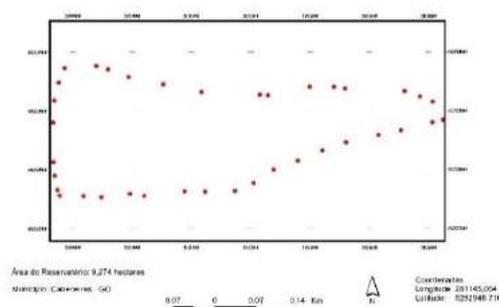
Apesar dos vários estudos (LIEBE; VAN DE GIESEN; ANDREINI, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2007; HUI *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2012) mostrando adequação desse método para estimativa da área do espelho d'água, em alguns casos, pode

ser necessário uma validação de campo. No campo, o contorno do espelho d'água das barragens, ou seja, a definição do seu perímetro e da sua forma, pode ser feito caminhando-se de posse de um GPS de mão, ao redor do contorno do espelho de água de cada barragem. Cuidado especial deve-se tomar na medida da forma do reservatório (Figura 2a). Muitas vezes a presença de vegetação nas margens da barragem pode impossibilitar o deslocamento e coleta dos pontos, nesses casos o contorno deve ser feito utilizando-se barco.

Em muitos casos, principalmente durante a estação chuvosa, é difícil definir com precisão onde é o início da barragem. Geralmente isto ocorre por dois motivos: (i) o início da barragem se confunde com o próprio curso d'água; e (ii) a nascente está encoberta pelo espelho d'água de barragens muito próximas a ela. Em alguns casos, a presença de vegetação no interior da barragem pode dificultar ainda mais a definição de onde era o início da barragem (Figura 2b).



(A)



(B)

Figura 2. (A) Registro de pontos ao redor do perímetro do espelho d'água de uma barragem, utilizando receptor GPS portátil, e (B) representação dos pontos coletados, indicando o local do registro e a forma do contorno do espelho d'água.

Rodrigues *et al.* (2007) observaram um bom ajuste ($R^2 = 0,92$), da área do espelho d'água calculada utilizando-se imagem de satélite com a calculada com base em dados coletados em campo.

Embora existam algumas técnicas que possibilitam estimar a relação cota-volume sem a necessidade de ir a campo, como, por exemplo, aquelas que utilizam modelos de elevação digital do terreno, para estimativa da relação, fundamental no gerenciamento de água de reservatórios, via-de-regra, faz-se necessário realizar trabalho de campo para levantar, por meio de batimetria, valores de profundidade da água (Figura 3a).

De posse dos dados de batimetria, gera-se o modelo em três dimensões da barragem (Figura 3b). A confecção do modelo 3D é interessante, uma vez que ele possibilitava verificar de imediato a ocorrência de algum problema na batimetria e/ou necessidade de coleta de pontos adicionais para cálculo do volume.

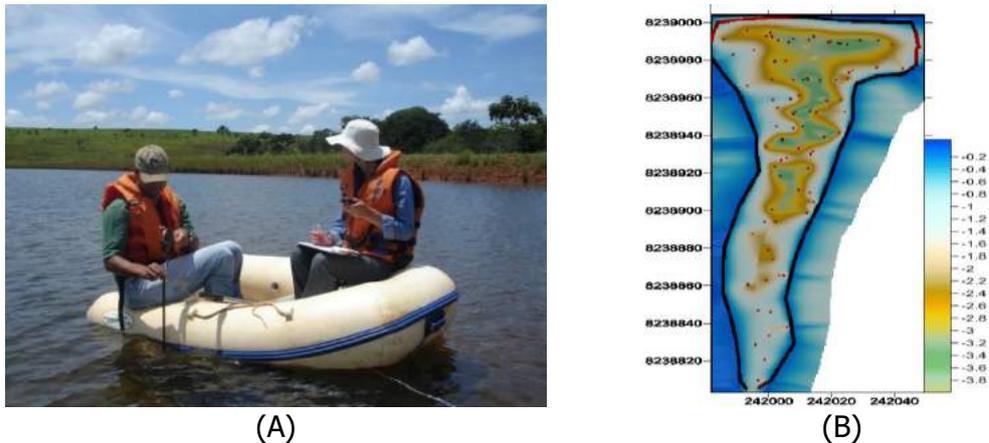


Figura 3. (A) Batimetria utilizando batímetro de mão e registro da posição com receptor GPS portátil; e (B) modelo em três dimensões de uma das barragens avaliadas.

De posse do modelo 3D, procede-se a parametrização de um modelo potencial, Equação 1, relacionando cota e volume.

$$V = kH^\alpha \quad (1)$$

em que V se refere ao volume armazenado (m^3), H à profundidade d'água (m), k e α aos coeficientes referentes a geometria da barragem

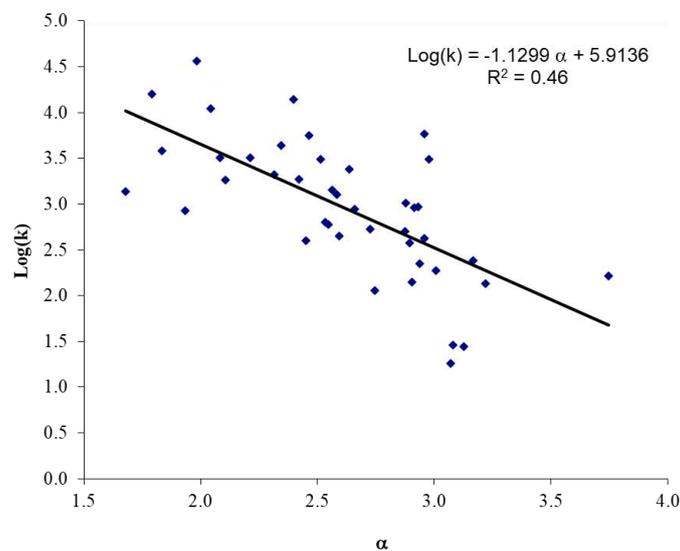


Figura 4. Relação entre os coeficientes referentes a geometria, $\log(k)$ e α , de uma pequena barragem na bacia hidrográfica do rio Preto.

Rodrigues e Liebe (2013) avaliaram 103 pequenos reservatórios no Brasil e em Gana. Na Figura 4 apresenta-se a relação entre os coeficientes referentes a geometria, $\log(k)$ e α , de uma pequena barragem na bacia hidrográfica do rio Preto. Observa-se a baixa correlação existente entre esses dois coeficientes. Com base nos estudos realizados no Brasil e Gana, o coeficiente α apresentou menor variabilidade.

No Brasil, foram avaliadas 42 pequenas barragens. Os valores de k , com média igual a 31.4677, variaram de 18,12 a 36.855,30 e os valores de α , com média igual a 2,61, variaram de 1,58 a 3,75. Em Gana, foram avaliadas 61 pequenas barragens. Os valores de k , com média

igual a 5.547,11, variaram de 377,88 a 26.413,31 e os valores de α , com média igual a 2,59, variaram de 1,83 a 4,08.

26.3 Balanço de água no reservatório

Na Figura 5 apresenta-se esquema de uma pequena barragem com os principais componentes representativos da dinâmica de água. Para fins de gestão, é importante que a vazão afluyente seja medida ou estimada diariamente. Essa informação é base para subsidiar as estratégias de uso da água da barragem. A precipitação que incide sobre o espelho d'água da barragem e a ascensão capilar, via de regra, são desprezados. O vertedor é uma estrutura de segurança que descarrega para jusante o excesso de água. A tomada de fundo é necessária para manter a vazão de jusante estabelecida pelo instrumento de outorga. As perdas por evaporação e infiltração podem ser significativas, especialmente em reservatórios localizados em regiões planas, com grande área de espelho d'água.

26.4 Infiltração

A infiltração é, sem dúvida, a variável com maior variabilidade espacial e mais difícil de ser quantificada ao se fazer o balanço e planejar o uso da água de um reservatório. Na gestão da água do reservatório, é importante que a infiltração seja avaliada sob a ótica do irrigante, onde ela se constitui em uma perda de água do sistema. Na ótica da bacia hidrográfica, a água infiltrada contribui com a recarga e volta a fazer parte do sistema hídrico podendo ser reutilizada, não podendo ser caracterizada como uma perda.

Segundo Dekker (2007), as perdas por infiltração em pequenas barragens são frequentemente desprezadas, por não haver um método simples para medi-las. Rodrigues e Dekker (2008) adaptaram o sistema apresentado por Sanders (1998) para medir a infiltração em reservatórios (Figura 5). O infiltrômetro, foi construído com tubos de PVC de 25 cm de diâmetro e comprimentos variados, em função da profundidade do local da medida.

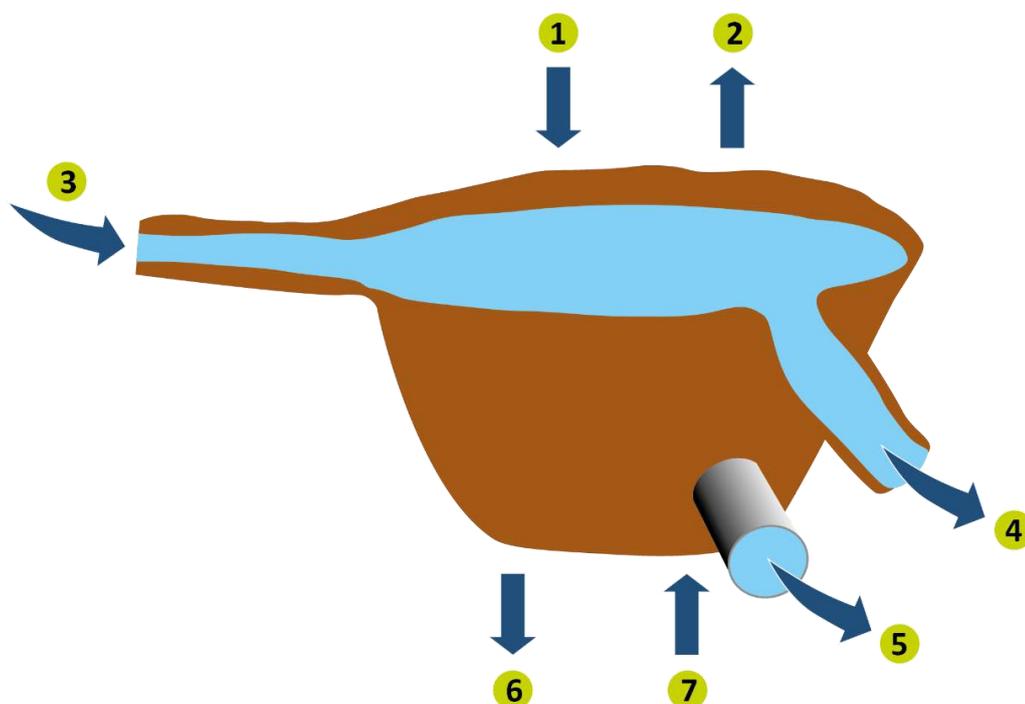


Figura 5. Representação esquemática dos componentes de uma pequena barragem, destacando as principais variáveis hidrológicas relacionadas à dinâmica de água: (1) precipitação, (2) evaporação, (3) vazão afluyente, (4) vertedor, (5) tomada de fundo, (6) infiltração, e (7) ascensão capilar.

Ao avaliarem a infiltração em uma pequena barragem, os autores observaram uma grande variabilidade espacial da infiltração (*seepage*). A duração das avaliações variou de 29 minutos a 1.440 minutos; e os valores da infiltração variaram de 0,0382 mm h⁻¹ a 3,8892 mm h⁻¹. O valor médio da taxa de infiltração para esta barragem foi igual a 1,3157 mm h⁻¹. A magnitude desse valor mostra a importância de se considerar a infiltração na gestão da água de pequenas barragens. Em apenas um mês, 4.032 m³ de água são retirados da barragem por infiltração. Este valor é 1,26 vez maior que a capacidade de armazenamento da barragem. Isso é, se não houvesse entrada de água no sistema em menos de um mês, essa barragem teria secado.

Visando contribuir para uma melhor medição e uma representatividade da variação da infiltração, os autores fizeram as seguintes recomendações: (i) as medidas de infiltração devem ser realizadas em vários locais dentro da barragem, (ii) as avaliações devem ser repetidas em cada local pelo menos cinco vezes, (iii) a definição do tempo de duração de cada teste deve ser feita no local, levando-se em consideração as características de cada barragem. Recomenda-se, entretanto, como regra prática, que a avaliação não seja finalizada antes que se tenha uma redução no peso inicial do frasco de soro de pelo menos 15%, (iv) verificar se não há vazamentos de água na parte inferior do infiltrômetro (barril), (v) verificar se a água do frasco de soro não está fazendo pressão sobre a água do tubo de PVC, e (vi) medidas de infiltração deveria ser um procedimento rotineiro em pequenas barragens.

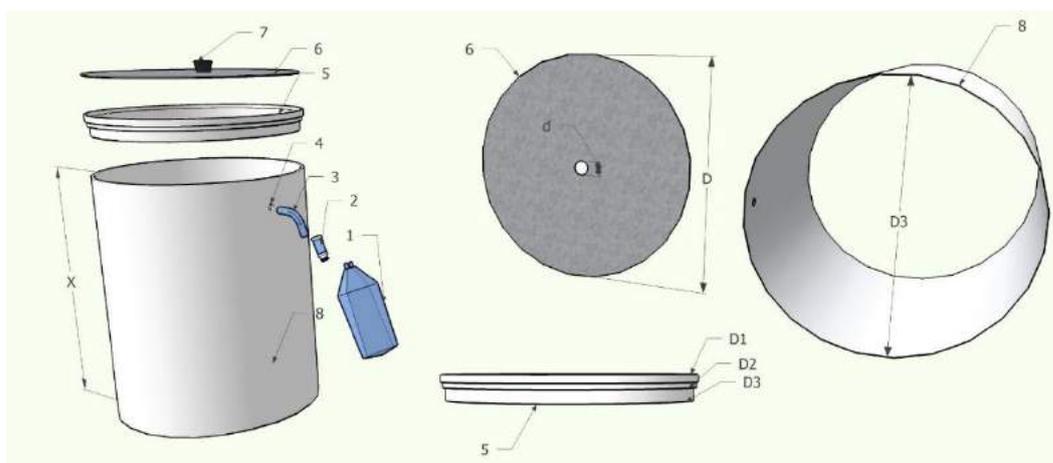


Figura 6. Esquema ilustrativo das partes componentes do infiltrômetro: (1, 2, 3) Frasco de soro, válvula de controle de fluxo e mangueira, (4) Orifício, com 0,5 cm de diâmetro, feito a 10 cm abaixo da parte de cima do barril (tubo de PVC), (5) Conexão barril-tampa (D1 = 26,0 cm; D2 = 25,4 cm; e D3 = 24,7 cm), (6) Tampa de metal (D = 26 cm; d = 1,5 cm), (7) Rolha de borracha (formato cônico com o diâmetro menor igual a 1,3 cm e o maior igual a 2,3 cm) e (8) Barril (feito de PVC, com diâmetro igual a 25,4 cm. O comprimento x varia com a profundidade).

26.5 Evaporação

O levantamento de estimativas de perdas por evaporação é primordial para o desenvolvimento de estratégias e políticas eficientes de gestão de recursos hídricos. Além disso, essas estimativas para áreas rurais remotas, ainda predominantes na região do Cerrado e que contam com poucas informações, são de especial interesse para hidrólogos e meteorologistas.

A evaporação representa uma perda efetiva de água do sistema hidrológico que não deve ser negligenciada, já que é um dos principais constituintes do balanço hídrico de reservatórios sob diferentes regimes climáticos. As perdas afetam diretamente a eficiência de armazenamento do reservatório, o uso produtivo de água, a economia e a qualidade de vida

das pessoas. O processo de evaporação se torna ainda mais importante quando se consideram os efeitos de mudanças climáticas, com o aumento da temperatura ameaçando reduzir a disponibilidade hídrica, levando-se em conta especialmente o armazenamento superficial de reservatórios.

Obter estimativas de perdas por evaporação mais precisas é, portanto, essencial. Contudo, a quantificação mais representativa dessa variável para pequenos reservatórios é um grande desafio, uma vez que a variabilidade da temperatura e da pressão de vapor do ar próximo às margens pode diferir consideravelmente das condições internas do reservatório e influenciar a magnitude da evaporação real.

Tradicionalmente, a evaporação de água em um pequeno reservatório pode ser aproximada por meio da medida da evaporação de água em um tanque evaporimétrico (tanque classe A) instalado em seu interior (MASONER; STANNARD, 2010). O tanque parcialmente submerso em água é preenchido com a mesma água do reservatório. Dessa forma, o tanque apresentará condições físicas similares ao reservatório, porém em um volume controlado onde as perdas só se dão por evaporação. Apesar de simples aplicação, a operacionalização deste equipamento é trabalhosa. É necessário ir de barco realizar a leitura da evaporação diariamente, ou no máximo semanalmente. Mesmo que utilizando um linímetro/linígrafo, a ida do técnico ao tanque é importante para realizar o seu preenchimento, evitando com que o nível do tanque baixe demasiadamente e influencie os dados de evaporação coletados. Além disso, a aproximação de barco deve ser cuidadosa para que marolas não transbordem para dentro do tanque e atrapalhe as leituras.

Neste sentido, Althoff *et al.* (2019) desenvolveram equações para estimar as perdas por evaporações em pequenas barragens no Cerrado. As equações se baseiam em dados mais fáceis de serem coletados e operacionalizados, como, por exemplo, tanque evaporimétrico (tanque classe A) e estação meteorológica instalados próximos ao reservatório. Neste caso, a evaporação medida no tanque evaporimétrico instalado fora do reservatório é maior que a evaporação de água medida em um tanque instalado dentro do reservatório, sendo necessário que se faça correções. Os autores ajustaram coeficientes para se estimar a evaporação real do reservatório (tanque interno) (Equação 2). Já por meio das variáveis meteorológicas, os autores ajustaram regressões lineares para o cálculo de evaporação de água (Equação 3).

$$E_{in} = K_p E_{ex} \quad (2)$$

$$E_{in} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n \quad (3)$$

em que E_{in} é a evaporação medida pelo tanque classe A instalado dentro do reservatório (mm dia^{-1}), E_{ex} é a evaporação medida pelo tanque classe A instalado próximo ao reservatório (mm dia^{-1}), K_p o coeficiente do tanque (adimensional), $\beta_0 \dots \beta_n$ são o intercepto e coeficientes angulares ajustados à regressão linear (adimensionais), e $X_1 \dots X_n$ são as variáveis explicativas do modelo, isso é, variáveis meteorológicas (W m^{-2} para radiação solar, $^{\circ}\text{C}$ para temperatura, % para umidade relativa e m s^{-1} para velocidade do vento).

Os coeficientes de tanque ajustados por Althoff *et al.* (2019) variaram de 0,92 em julho a 0,72 em dezembro. De forma geral, pode-se assumir K_p igual a 0,88 na estação seca e igual a 0,78 na estação chuvosa. Apesar do Cerrado apresentar clima predominantemente caracterizado como tropical de savana com inverno seco, esses coeficientes podem variar de acordo com especificidades do clima local. Por exemplo, temperaturas mais elevadas aquecem mais rapidamente o reservatório posicionado externamente ao reservatório do que internamente. Logo, as equações desenvolvidas são mais genéricas para se estimar a evaporação de água (Equação 4):

$$E_{in} = 0,924 + 0,057T_x - 0,029UR + 0,475u_2 + 0,012Rs \quad (4)$$

em que T_x é a temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), UR a umidade relativa (%), u_2 a velocidade do vento a 2 m do solo (m s^{-1}) e R_s a radiação solar (W m^{-2}).

Althoff, Rodrigues e Silva (2019) avaliaram o impacto desses pequenos reservatórios na gestão de recursos hídricos por meio de curvas de permanência. Essas curvas apresentam a frequência que dada evaporação é igualada ou superada em um intervalo de tempo. Isso facilita com que gestores de água assumam riscos baseados na probabilidade para estimar a disponibilidade hídrica nesses reservatórios. Para isso, os autores (i) simularam séries de evaporação por meio da série histórica de uma estação meteorológica, (ii) ordenaram os valores de evaporação para períodos quinzenais ao longo do ano e (iii) atribuíram frequências de ocorrências a esses valores de acordo com a equação de Kimball (1960) (Equação 5).

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad (5)$$

em que F é a frequência de ocorrência (%), m é a ordem do evento de evaporação e n é o número de observações.

Os autores observaram, para a estação seca, baixa variabilidade da evaporação em relação a probabilidade, o que resulta baixo risco/incertezas na estimativa de evaporação mesmo se baseando em diferentes probabilidades de ocorrência. Contudo, a evaporação apresenta alta variabilidade na estação quente e chuvosa, sendo necessário maior cuidado ao se assumir diferentes níveis de probabilidade.

A partir da série histórica de evaporação simulada por Althoff, Rodrigues e Silva (2019), também foi possível observar, entre 1974 e 2017, uma tendência no aumento de evaporação de água para uma sub-bacia da bacia do Rio Preto. Essa tendência foi mais significativa para os meses de agosto, setembro e outubro, ao fim da estação seca, o que configura um risco à principal safra do ano. As chuvas são incertas no período de transição entre estação seca e chuvosa, e a maior evaporação coloca em xeque a disponibilidade hídrica nesses reservatórios para o início do plantio.

A fim de melhor caracterizar os riscos provenientes de mudanças climáticas para a bacia do Rio Preto, Althoff, Rodrigues e Silva (2020) avaliaram diferentes projeções climáticas até o fim do século. Essas projeções se baseiam em um cenário intermediário e um cenário pessimista. O cenário intermediário (RCP4.5) estima um aumento no saldo de radiação de 4.5 W m^{-2} até 2100, enquanto o cenário pessimista (RCP8.5) estima um aumento de 8.5 W m^{-2} . Os autores estimaram uma redução da disponibilidade hídrica dos pequenos reservatórios ao fim da estação seca em aproximadamente 35%. A partir das projeções, se estimou um aumento na evaporação de pequenos reservatórios de 7.3% para RCP4.5 e 18.4% para RCP8.5. Isso representaria, para o cenário pessimista, em uma redução na disponibilidade hídrica dos reservatórios de até 10% ao fim da estação seca, isso é, uma redução total na disponibilidade hídrica em 41.6% ao longo da estação seca. Os autores também salientam que reservatórios rasos serão mais impactados pelas mudanças climáticas e terão maior risco em não atingirem o propósito para qual foram construídos.

Os impactos projetados para a disponibilidade hídrica em pequenos reservatórios são importantes para que se leve em consideração a evaporação como uma perda efetiva no design e gestão desses reservatórios. Apesar disto, o aumento em disponibilidade hídrica oferecida pelos pequenos reservatórios é considerável, especialmente para as bacias de elevada sazonalidade climática como as do Cerrado.

26.6 Avaliação do impacto de pequenas barragens na disponibilidade hídrica durante a estação seca

Pinhati, Rodrigues e Aires de Souza (2020) realizaram estudo para avaliar o impacto de 458 pequenas barragens na disponibilidade hídrica da bacia do rio São Marcos durante a estação seca, de maio a setembro, totalizando 153 dias. Os autores identificaram que esses 458 reservatórios armazenam 193 hm³.

Para isto, os autores dividiram a bacia em 4.161 sub-bacias. Analisando o impacto de cada pequenos reservatórios, considerando apenas a água armazenada no reservatório, sem contabilizar novas entradas, os autores observaram que as pequenas barragens com área do espelho d'água < 0,32 ha não contribuem com nenhum aumento significativo na disponibilidade de água da bacia no final da estação seca.

Para avaliar o efeito dos pequenos reservatórios (PR) nas sub-bacias, os autores relacionaram espacialmente os 458 reservatórios às 4.161 microbacias, resultando em 319 sub-bacias contendo entre um e oito PR por microbacia. Os resultados mostraram que os valores médios da Q₉₅ e da vazão média para os meses de maio e setembro aumentaram nas 319 sub-bacias com PR quando comparados com as vazões dos rios sem o efeito PR. Contabilizando o efeito PR, a Q₉₅ teve um aumento relativo de 72,4% e 44,4% em maio e setembro, respectivamente, enquanto a vazão média aumentou de 43,4% e 20,0%.

26.7 Aspectos legais a serem considerados na construção de pequenas barragens

Uma barragem mal dimensionada pode ter perdas significativas de água por evaporação, reduzindo a disponibilidade de água para outras finalidades na mesma bacia hidrográfica. Além disso, problemas no projeto e construção da barragem podem resultar na ocorrência de grandes perdas de água por infiltração e, até mesmo, no rompimento da barragem. Existem relatórios, por exemplo, indicando que só no ano de 2004, mais de 300 barragens, de diversos tamanhos, tenham se rompido em todo o Brasil.

Antes de se construir uma barragem é importante observar se a legislação vigente permite a construção da barragem naquela área. Por exemplo, próximo a nascente de rio deve-se ter uma área preservada, ao redor da nascente, de 50 metros. Isto é, deve-se observar se área onde a barragem será construída é área de interesse ambiental, seja Unidade de Conservação ou Área de Preservação Permanente. As Unidades de Conservação, instituídas pela Lei 9.985/2000, que permitem a instalação de barragens são as de Uso Sustentável (APA, ARIE, FLONA, RESEX, RDS e RPPN). Nas Áreas de Preservação Permanente (APP), instituídas pelo Código Florestal (Lei 4.771/1965 e pelas Resoluções CONAMA 302 e 303/2002), o uso é ainda mais restrito, devendo a barragem ocupar e impactar o mínimo possível dessas áreas.

Antes de iniciar a construção da barragem é importante elaborar uma estratégia para recomposição da mata ao redor da barragem. A construção de barragens implica na remoção da vegetação marginal do curso d'água a qual só poderá ser feita com autorização do órgão ambiental, por se tratar de área de APP. Após a construção de barragens, é necessário repor a faixa de vegetação marginal, reconstituindo a APP, empregando espécies ocorrentes na vegetação original. No caso de barragens em zona rural com espelhos d'água com área inferior a 20 ha, não utilizadas em abastecimento público ou geração de energia elétrica, a faixa de APP a ser vegetada é de 15 m e as mudas a serem empregadas deverão ser de espécies ocorrentes na vegetação original.

Mais recentemente, a Lei 12.787/13, que estabelece a Política Nacional de Irrigação, em seu Artigo 22, Parágrafo 2º, determina que as obras de infraestrutura de irrigação, inclusive os barramentos de cursos d'água que provoquem intervenção ou supressão de vegetação em área de preservação permanente, poderão ser consideradas de utilidade

pública, para efeito de licenciamento ambiental, quando declaradas pelo Poder Público Federal como essenciais para o desenvolvimento social e econômico.

As barragens são infraestruturas essenciais para o desenvolvimento da agricultura irrigada em diversas regiões do Brasil. Todavia, antes da sua construção, o irrigante deve estar atento aos aspectos legais, buscando minimizar os impactos ambientais. Após a sua construção, deve-se estabelecer procedimento de manutenção continuada.

26.8 Considerações finais

Na área rural, os sistemas de produção são dependentes dos recursos hídricos. A variabilidade temporal desse recurso e o acesso limitado a água e as tecnologias para enfrentar essa variabilidade na oferta hídrica, constituem em fatores de redução da renda e da qualidade de vida das comunidades rurais. Pequenas barragens são estruturas que reduzem os efeitos da sazonalidade do clima sobre a produção de alimentos, contribuindo para melhorar a vida socioeconômica de comunidades rurais.

Os impactos ambientais provocados por essas barragens e os conflitos advindos do uso inadequado de suas águas podem ser minimizados consideravelmente se elas forem adequadamente construídas e manejadas.

Estudos relacionados a pequenos reservatórios são escassos e praticamente inexistentes na literatura hidrológica para o Brasil, sendo que a maioria das pesquisas se concentraram nos impactos potenciais do clima e sua relação com grandes barragens. As pequenas barragens são infraestruturas essenciais para o desenvolvimento da agricultura irrigada em diversas regiões do Brasil. Estudos apontam que a disponibilidade hídrica durante a estação seca pode aumentar em até 500% com a construção de pequenas barragens em cascata. Todavia, antes da sua construção, o irrigante deve estar atento aos aspectos legais, buscando minimizar os impactos ambientais. Após a sua construção, deve-se estabelecer procedimento de manutenção continuada. Adicionalmente, deve ser considerado que, nas definições dos planos de irrigação e para balizar políticas de governo, é importante ter informações precisas sobre a área irrigada e a área potencial para irrigação.

Pinhati, Rodrigues e Aires de Souza (2020) observaram que o impacto de uma única pequena barragem na disponibilidade hídrica é proporcional ao seu tamanho, mas também está relacionado à sua localização na bacia, dada a tendência de que quanto maior a área de drenagem a montante, maior será a sua capacidade de armazenamento. De fato, pequenas barragens individuais com áreas de drenagem a montante <3 km² mostraram exercer pouco impacto sobre a disponibilidade local de água, no caso da bacia hidrográfica do rio São Marcos.

Quanto maior o volume de água que se deseja acumular, maior a barragem e mais complexa é a sua construção. Muito pouco se conhece a respeito do impacto provocado pelos pequenos reservatórios de água na hidrologia da bacia hidrográfica. Esses reservatórios são de construção simples, sendo muitas vezes construídos pelo próprio fazendeiro ou grupo de pequenos proprietários de terra.

Quando não adequadamente planejadas, as barragens tendem a ser superdimensionadas, pois o usuário parte da ideia que quanto mais água ele tem a sua disposição, mesmo que não seja necessária, maior a sua segurança hídrica. Barragens superdimensionadas imobilizam uma quantidade de água desnecessária, água que poderia ser utilizada a jusante para outras finalidades. Barragens subdimensionadas ocorrem, geralmente, devido à falta de conhecimento das demandas atuais e (ou) futuras e (ou) por não se levar em consideração, durante o dimensionamento, as perdas por evaporação e infiltração.

As duas situações, super ou subdimensionamento, não são adequadas, podendo levar a conflitos pelo uso do recurso. No primeiro caso, o conflito se verifica entre o proprietário da

barragem e os usuários dos recursos hídricos localizados a jusante da barragem; já no segundo caso, entre os usuários da água da própria barragem.

A escolha do local mais adequado para locação e construção de novos reservatórios é fundamental para sua gestão, principalmente pelo fato do local influenciar diretamente na relação entre o tamanho do espelho de água e a capacidade total de armazenamento do reservatório. Essa relação tem influência direta na quantidade de água evaporada e infiltrada.

Desta forma, o uso de modelos matemáticos com o propósito de simular o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas com presença de pequenas barragens, isoladas ou em conjunto, considerando diferentes cenários de mudanças nas variáveis hidrológicas, constituem uma ferramenta fundamental para a gestão. Os resultados advindos desses modelos são importantes para as agências de águas, pois podem subsidiar o planejamento de recursos hídricos, principalmente quando se realizam previsões a longo prazo, podendo, desta forma, auxiliar no desenvolvimento de estratégias para melhorar a eficiência e a tomada de decisões afim de garantir o uso sustentável de recursos hídricos.

Não se pode condenar a construção de pequenas barragens, construídas para fins de armazenamento de água para produção de alimento, em virtude de fatos ocorridos com barragens de grande porte construídas para outros usos. Na maior parte do Brasil, a água para irrigação é proveniente de fontes superficiais, principalmente de rios, cuja vazão está diretamente associada à pluviometria da região. Durante a estação seca, a vazão dos rios é reduzida, o que compromete a prática da irrigação e pode favorecer o surgimento de conflitos entre os usuários de recursos hídricos. A importância das pequenas barragens tem aumentado com a intensificação da variabilidade climática. As pequenas barragens são estruturas essenciais para viabilizar a irrigação na maior parte do Brasil. Elas se destinam a regularizar a oferta hídrica para atender a uma ou várias atividades. Armazenam o excesso de água durante a estação chuvosa para suprir o *deficit* hídrico durante a seca, quando a demanda é geralmente maior que a oferta. Não se pode estabelecer as mesmas regras, requerimentos e exigências de grandes barragens, para as pequenas barragens, normalmente feitas de terra e cujo impacto ambiental é consideravelmente menor.

Referências

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. da; BAZAME, H.C. Improving methods for estimating small reservoir evaporation in the Brazilian Savanna. **Agricultural Water Management**, v.216, p.105-112, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.01.028>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. Evaluating evaporation methods for estimating small reservoir water surface evaporation in the Brazilian savannah. **Water**, v.11, n.9, p.1942, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11091942>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. da. Impacts of climate change on the evaporation and availability of water in small reservoirs in the Brazilian savannah. **Climatic Change**, v.159, n.2, p.215-232, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02656-y>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BRASIL. Lei 4.771 de 15 de Setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.9529, 16 set. 1965.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.470, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657,

de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 jan. 2013.

BRASIL. Resolução CONAMA 302 de 20 de Março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.67-68, 13 mai. 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA 303 de 20 de Março de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, seção 1, p.68, 13 mai. 2002.

CARVALHO, M.S.B.S.; MARTINS, S.P.R.M.; SOARES, A.M.L.; CHAVES, L.C.G.; OLIVEIRA, F.A.J.; PERINI, D.S.; MENESCAL, R.A.; SCHERER-WARREN, M. Levantamento dos espelhos d'água acima de 20 ha em todo o território brasileiro através de sensoriamento remoto. In: Proceedings of the remote sensing symposium held in Natal, Brazil. [S. l.: s. n.] p.1967-1974, 2009.

DEKKER, T. **Modeling the buriti vermelho catchment** - In search of the best model with low data availability. 2007. Thesis (Master) - TU Delft, Delft, 2007.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Projeto de aproveitamento hidroagrícola da bacia do rio Preto no Distrito Federal**. Brasília: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 2001.

HUI, F.; XU, B.; HUANG, H.; YU, Q.; GONG, P. Modelling spatial-temporal change of Poyang Lake using multitemporal Landsat imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.20, p.5767-5784, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431160802060912>. Acesso em: 18 mar. 2021.

KIMBALL, B.F. On the choice of plotting positions on probability paper. **Journal of the American Statistical Association**, v.55, n.291, p.546-560, 1960.

KLINK, C.A. Policy intervention in the savannas of Brazil: Changes in the land use and effects on conservation. In: CONSORTE-MCCREA, A.; FERRAZ SANTOS, E. **Ecology and Conservation of the Maned Wolf: Multidisciplinary Perspectives**, p.293-308, 2014.

LIEBE, J.; VAN DE GIESEN, N.; ANDREINI, M. Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: A case study in the Upper East Region of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v.30, n.6, **Integrated Water Resource Assessment**, p.448-454, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.06.011>. Acesso em: 18 mar. 2021.

LOPES, A.V.; FREITAS, M.A.S. A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.4, n.1, p.6-28, 2007.

MALDANER, V.I. **Análise dos conflitos do uso da água na bacia hidrográfica do rio Preto no DF**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2003.

MANETA, M.P.; TORRES, M.; WALLENDER, W.W.; VOSTI, S.; KIRBY, M.; BASSOI, L.H.; RODRIGUES, L.N. Water demand and flows in the São Francisco River basin (Brazil) with increased irrigation. **Agricultural Water Management**, v.96, n.8, p.1191-1200, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.008>. Acesso em: 18 mar. 2021.

MASONER, J.R.; STANNARD, D.I. A comparison of methods for estimating open-water evaporation in small wetlands. **Wetlands**, v.30, n.3, p.513-524, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0041-y>. Acesso em: 18 mar. 2021.

MENESCAL, R.A.; MIRANDA, A.N.; PITOMBEIRA, E.S. As barragens e as enchentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: GEDN UFSC, p.932-942, 2004.

PINHATI, F.S.C.; RODRIGUES, L.N.; AIRES DE SOUZA, S. Modelling the impact of on-farm reservoirs on dry season water availability in an agricultural catchment area of the Brazilian savannah. **Agricultural Water Management**, v.241, p.106-296, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106296>. Acesso em: 18 mar. 2021.

RODRIGUES, L.N.; DEKKER, T. Avaliação da taxa de infiltração em pequenas barragens. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.80, p.57-61, 2008.

RODRIGUES, L.N., LIEBE, J. Small reservoirs depth-area-volume relationships in savannah regions of Brazil and Ghana. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.1, p.1-10, 2013. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR2013307656>. Acesso em: 30 abr. 2021.

RODRIGUES, L.N.; SANO, E.E.; AZEVEDO, J.A.; SILVA, E.M. Distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na bacia do Rio Preto. **Revista Espaço e Geografia**, v.10, n.2, p.379-400, 2007.

RODRIGUES, L.N.; SANO, E.E.; STEENHUIS, T.S.; PASSO, D.P. Estimation of small reservoir storage capacities with remote sensing in the Brazilian savannah region. **Water Resources Management**, v.26, n.4, p.873-882, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9941-8>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ROSENBERRY, D.O.; WINTER, T.C.; BUSO, D.C.; LIKENS, G.E. Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. **Journal of Hydrology**, v.340, n.3-4, p.149-166, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.03.018>. Acesso em: 18 mar. 2021

SANDERS, L.L. **A manual of field hydrogeology principle**. Hall, USA, v.381, 1998.

WORLD COMMISSION ON DAMS. Dams and development: A new framework for decision-making: The report of the world commission on dams. [S. l.]: Earthscan, 2000.

CAPÍTULO 27

27 PANORAMA DAS ÁREAS IRRIGADAS E DO USO DA ÁGUA PELA AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Thiago Henriques Fontenelle, Daniel Assumpção Costa Ferreira, Marco Vinícius Castro Gonçalves e Sérgio Rodrigues Ayrimoraes

Resumo

Os dados publicados na segunda edição do Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) possibilitam traçar um panorama completo do mapeamento de áreas irrigadas no Brasil, bem como do uso da água pela agricultura irrigada. Atualmente, o Brasil totaliza 8,2 milhões de hectares equipados para irrigação, sendo 64,5% (5,3 Mha) com água de mananciais e 35,5% (2,9 Mha) com fertirrigação com água de reúso. A estratégia de mapeamento, coordenada pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e desenvolvida com vários parceiros institucionais, foi organizada por tipologias de cultura e métodos de irrigação (arroz; cana-de-açúcar; café; culturas anuais em pivôs centrais e demais culturas e sistemas) em base técnica única. Essa base também conta com estimativa de uso da água pela agricultura irrigada, que soma 965 m³/s para um cenário de clima médio em 2019. Até 2040, estima-se a incorporação de 4,2 milhões de hectares irrigados (+76%), com um impacto menor sobre a expansão do uso da água (+66%) devido ao emprego de métodos cada vez mais eficientes. O aproveitamento desse potencial implica em necessários avanços em ações de segurança hídrica, sendo apontados no capítulo o recorte especial dos polos nacionais de irrigação, bem como recomendações e reflexões sobre o tema.

27.1 Introdução

A agricultura irrigada é o maior uso da água no Brasil e no mundo. É uma atividade dinâmica e que tem apresentado desempenho crescente e persistente nas últimas décadas, muitas vezes na contramão de períodos instáveis e negativos da economia brasileira. Com uma conjuntura favorável, associada ao aumento do aporte de crédito e de investimentos privados, a expansão da agricultura irrigada encontra-se no seu maior patamar histórico no Brasil - entre 2012 e 2019, o crescimento foi da ordem de 4% ao ano, quando foram incorporados cerca de 216 mil hectares de campos irrigados ao ano.

O valor da produção irrigada superou a marca de R\$ 55 bilhões no Brasil em 2019 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021). Além de sua importância econômica, a irrigação contribui decisivamente para a segurança alimentar e nutricional da população brasileira. Arroz, feijão, legumes, frutas e verduras são alimentos produzidos em boa parcela sob irrigação, superando mais de 90% da produção no caso do arroz e da horticultura, por exemplo.

A esse dinamismo e ao histórico recente, soma-se um grande potencial de expansão passível de ser explorado no nosso país, aumentando o emprego de tecnologia em áreas atualmente já agrícolas ou destinadas a pastagens. Dentre os benefícios observados na produção irrigada em relação às áreas de sequeiro (não irrigadas), pode-se destacar: o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos, a redução de custos unitários, a atenuação dos impactos da variabilidade climática, a otimização de insumos e

equipamentos, o aumento na oferta e na regularidade de alimentos e a modernização dos sistemas de produção com a introdução de novos pacotes tecnológicos.

Por outro lado, essa expansão precisa ser organizada para áreas com capacidade de suporte, exigindo esforço crescente de planejamento e de gestão setorial e de recursos hídricos. Estimativas conduzidas pela Esalq, ANA e MDR indicam que até 22% da área agropecuária atual do Brasil poderia ser irrigada sem limitações na oferta de água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) e conflitos com outros usos já instalados.

Nesse capítulo, apresentamos uma síntese dos estudos sobre áreas irrigadas e uso da água conduzidos pela ANA e parceiros, e que recentemente foram publicados na segunda edição do Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021), atualizando e ampliando o escopo da primeira edição lançada em 2017. As experiências com o Atlas Irrigação, com o planejamento de recursos hídricos e com o planejamento de outros setores permitem também traçar algumas contribuições para a segurança hídrica atual e futura da agricultura irrigada, que também serão apresentadas ao longo do capítulo.

27.2 Levantamentos de áreas irrigadas

Os métodos mais comuns de estimativa do uso da água pela irrigação reúnem informações climáticas e de características das culturas e dos sistemas de irrigação (eficiência), resultando em uma necessidade de irrigação específica naquele local e momento do ano (litros por dia por hectare). Essas lâminas específicas são então multiplicadas pela área irrigada para se determinar a demanda hídrica de um território (talhão, município, bacia hidrográfica, entre outros).

Embora dotadas de elevada complexidade e incertezas associadas, as estimativas de lâmina de irrigação possuem relativa previsibilidade mesmo na ausência de informações completas sobre as culturas e os sistemas de irrigação – por exemplo, com a adoção de uma cesta de culturas de referência e com valores de eficiência de fabricantes de equipamentos ou da bibliografia. O aumento da disponibilidade de informações climáticas e de solos com produtos de sensoriamento remoto tem contribuído mais recentemente na diminuição das incertezas dessas estimativas.

Já as áreas irrigadas são a principal fonte de erro das estimativas pela difícil previsibilidade, elevada dinâmica territorial, altas taxas de expansão recente e potencial, e escassez de calendários precisos de plantio e colheita. Ciente desse desafio, a ANA intensificou nos últimos anos uma estratégia de levantamento de informações e de parcerias estratégicas para cobrir essa lacuna de conhecimento primordial para a gestão da irrigação e dos recursos hídricos.

Para tanto, foram identificados os principais grupos de áreas irrigadas em larga escala que, devido às características específicas, exigiriam diferentes estratégias e metodologias de levantamento das áreas irrigadas e do uso da água. São elas: o arroz, o café, a cana-de-açúcar (subdividida em irrigada e fertirrigada), culturas anuais em pivôs centrais e outras culturas e sistemas - essa última com elevada participação da fruticultura e da horticultura.

Dentre as parcerias estratégicas no levantamento de áreas irrigadas, destacam-se: (i) com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab foram mapeadas as áreas de arroz e café irrigados nos principais estados produtores; (ii) com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, foi publicada a série histórica de pivôs centrais (1985-2017, atualizada pela ANA para 2019); e (iii) com o apoio da Agrosatélite Geotecnologia Aplicada, foram identificadas as áreas irrigadas e fertirrigadas de cana-de-açúcar e construídas ferramentas de apoio ao mapeamento de outras áreas irrigadas difusas no Semiárido. A ANA

executou mapeamentos complementares em perímetros públicos e outras tipologias que fogem aos padrões anteriormente mencionados, e que se concentram no Nordeste e outros polos específicos (em especial de fruticultura e horticultura). Dados secundários, em especial do Censo Agropecuário 2017 do IBGE, complementaram o panorama das áreas irrigadas no Brasil.

O Atlas Irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) e publicações vinculadas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019, 2019a, 2020) detalham a metodologia e os resultados dos levantamentos para as tipologias consideradas. Como resultado geral, conclui-se que o Brasil totaliza 8,2 milhões de hectares equipados para irrigação – 35,5% (2,9 Mha) com fertirrigação com água de reúso e 64,5% (5,3 Mha) com irrigação com água de mananciais. A subdivisão da área irrigada nas tipologias é apresentada na Figura 1.

Área equipada para irrigação no Brasil - 2019



Figura 1. Área equipada para irrigação no Brasil em 2019, por tipologia de cultura e manejo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

O mapa municipal (Figura 2) destaca a tipologia de cultura(s) predominante dentre as áreas irrigadas dos municípios. Observa-se a concentração do arroz em polos no Sul e em Tocantins; da cana irrigada no litoral nordestino e em outros polos do Centro-Sul e Nordeste; da cana fertirrigada no Centro-Sul (São Paulo, sudoeste goiano, triângulo mineiro e sudoeste sul-mato-grossense); do café em polos do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Rondônia; de outras culturas temporárias cultivadas sob pivôs centrais no planalto central (em especial Goiás, Minas Gerais e Bahia); e das demais culturas e sistemas no Norte e no Semiárido.

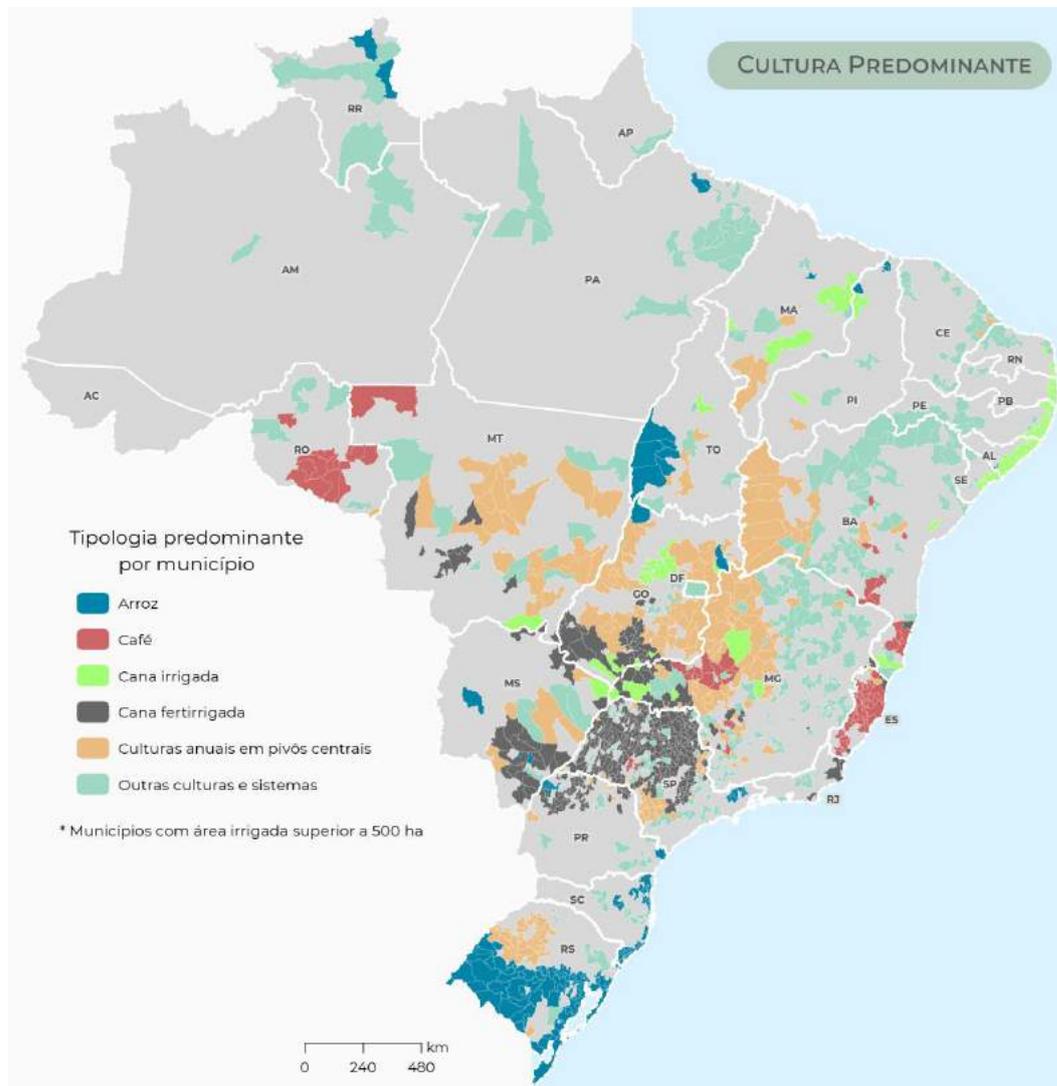


Figura 2. Tipologia de cultura predominante por município em 2019 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Considerando a distribuição das áreas irrigadas propriamente ditas (excluindo as fertirrigadas), o Brasil totaliza 5,3 milhões de hectares equipados para irrigação - o arroz ocupa 25% do total; a cana 15%; o café 8%; as culturas anuais em pivôs centrais 27%; e as demais culturas e sistemas 25%. A geografia da distribuição entre as unidades da federação é diferenciada e deve se alterar no futuro na medida em que se estima crescimento diferenciado entre essas tipologias e diferentes potenciais de expansão da atividade no território nacional.

O mapa de área irrigada total (Figura 3) destaca as principais concentrações de áreas irrigadas no Brasil. Os avanços nos mapeamentos do Atlas Irrigação só foram possíveis a partir dessa ampla rede de parcerias coordenadas pela ANA. Esse fatiamento do trabalho em tipologias, com posterior consolidação do mosaico em uma base técnica única, mostra ser a forma mais efetiva de continuar lidando com a dinâmica e a diversidade da irrigação no Brasil.

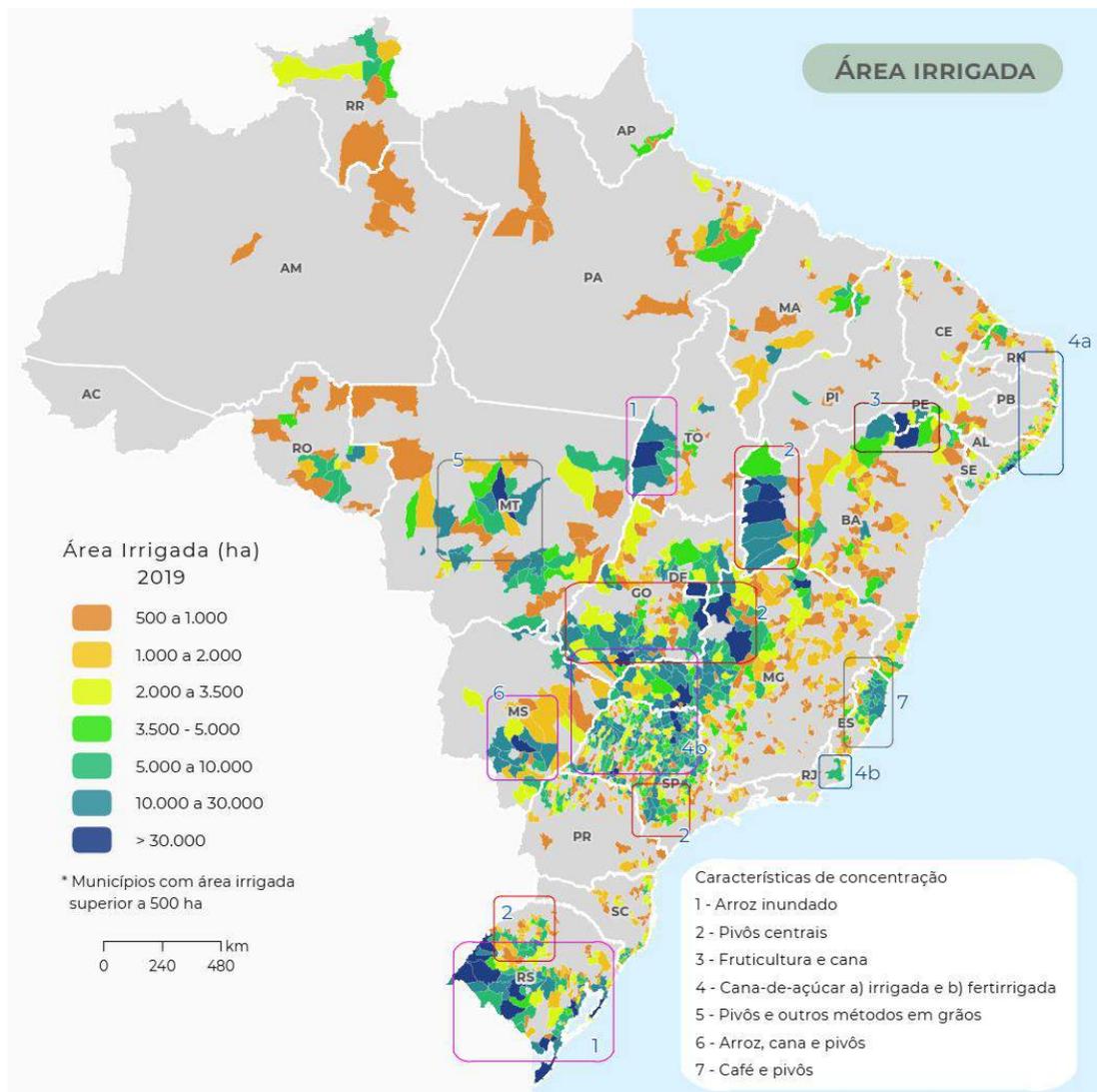


Figura 3. Área equipada para irrigação por município (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

27.3 Uso da água

Atualmente, a irrigação é responsável por cerca de 50% da captação de água em mananciais superficiais e subterrâneos no Brasil (Figura 4). Essa participação da irrigação é semelhante à observada na média global.

A conversão de áreas irrigadas em demanda hídrica em escala nacional baseia-se na estimativa do balanço nas áreas irrigadas – assim como é feito pelo irrigante em sua propriedade. Esse cálculo requer um conjunto de informações e de parâmetros adicionais sobre calendários de plantio/colheita, duração de ciclos, coeficientes de cultivo e dados climáticos, dentre outros. Na 2ª edição do Atlas Irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021), essa etapa valeu-se do conhecimento adquirido e publicado pela ANA no Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019b) e nos Coeficientes Técnicos de Uso da Água para a Agricultura Irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019c). Contou ainda com a parceria da Universidade Federal do Paraná - UFPR na atualização e na consistência das bases de dados de evapotranspiração potencial e de chuva.



Figura 4. Estimativa de captação média anual de água por setor usuário (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

A demanda hídrica atualizada pelo Atlas, assumindo um cenário de clima médio em 2019, aponta um uso da água pela agricultura irrigada de $941 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a $965 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, onde são captados em mananciais (água azul) e cerca de $24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ representam o reúso agrônomo de efluentes (água cinza) em áreas de cana-de-açúcar (fertirrigação e salvamento).

Dentre as tipologias adotadas no Atlas, o arroz demanda de mananciais $357 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ou 38% da demanda em 2019). Os demais sistemas e culturas (classe com elevada participação da fruticultura no Nordeste e da horticultura) demandam $276 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (29%), seguido das culturas anuais cultivadas em pivôs centrais ($167 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ou 18%). O café ($97 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ou 10%) e a cana ($44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ou 5%) completam as tipologias mais relevantes da demanda hídrica nacional. A Figura 5 sintetiza os levantamentos de áreas irrigadas e do uso de água de mananciais por unidade da federação.

Em termos de intensidade hídrica (demanda por hectare), o arroz, a cana irrigada (por *deficit* ou plena), o café e as culturas localizadas no Semiárido demandam proporcionalmente mais água que as culturas sob pivôs, que estão em grande parte no Cerrado. O manejo do arroz por inundação, embora concentrado em apenas 100 a 120 dias ao ano, é bastante hidrotensivo, enquanto nos demais casos trata-se de culturas (semi)perenes, que precisam de complementação hídrica durante todo o ano, e/ou de regiões de menor disponibilidade de água do ambiente.

De forma a avaliar os impactos recentes da variabilidade climática nas estimativas, o Atlas Irrigação estimou as demandas hídricas no período de 2006 a 2019, utilizando tanto o cenário de planejamento (chuva média histórica) quanto o cenário de chuva observada. Concluiu-se que, à exceção de 2009, as chuvas médias em muitas regiões irrigadas foram inferiores às séries históricas, impulsionando a demanda hídrica em escala nacional, especialmente em 2007, 2010 e 2012. O período 2014-2019 foi especialmente desafiador pela persistência de chuvas abaixo da média, à exceção de 2018 com anomalias menos severas nas regiões produtoras.

Ainda, com um olhar para o futuro, o Atlas Irrigação apresenta uma primeira abordagem do impacto das mudanças climáticas sobre a demanda hídrica no horizonte 2040. Foram avaliadas as anomalias de evapotranspiração potencial e de precipitação em 40 cenários futuros, dos quais foram selecionados três como referenciais (representando situação crítica, intermediária e otimista). Em termos de magnitude de aumento da demanda hídrica média anual, os cenários apontam entre +1% no cenário otimista a +20% no cenário crítico, sendo o aumento de +13% no cenário intermediário. Além disso, a sazonalidade é afetada em

diferentes magnitudes e proporções, com aumento máximo da demanda média mensal de 254% no cenário crítico e de 186% no cenário otimista (ambos os picos ocorrem em março). Já no cenário intermediário, a máxima variação mensal foi verificada em janeiro (+148%).

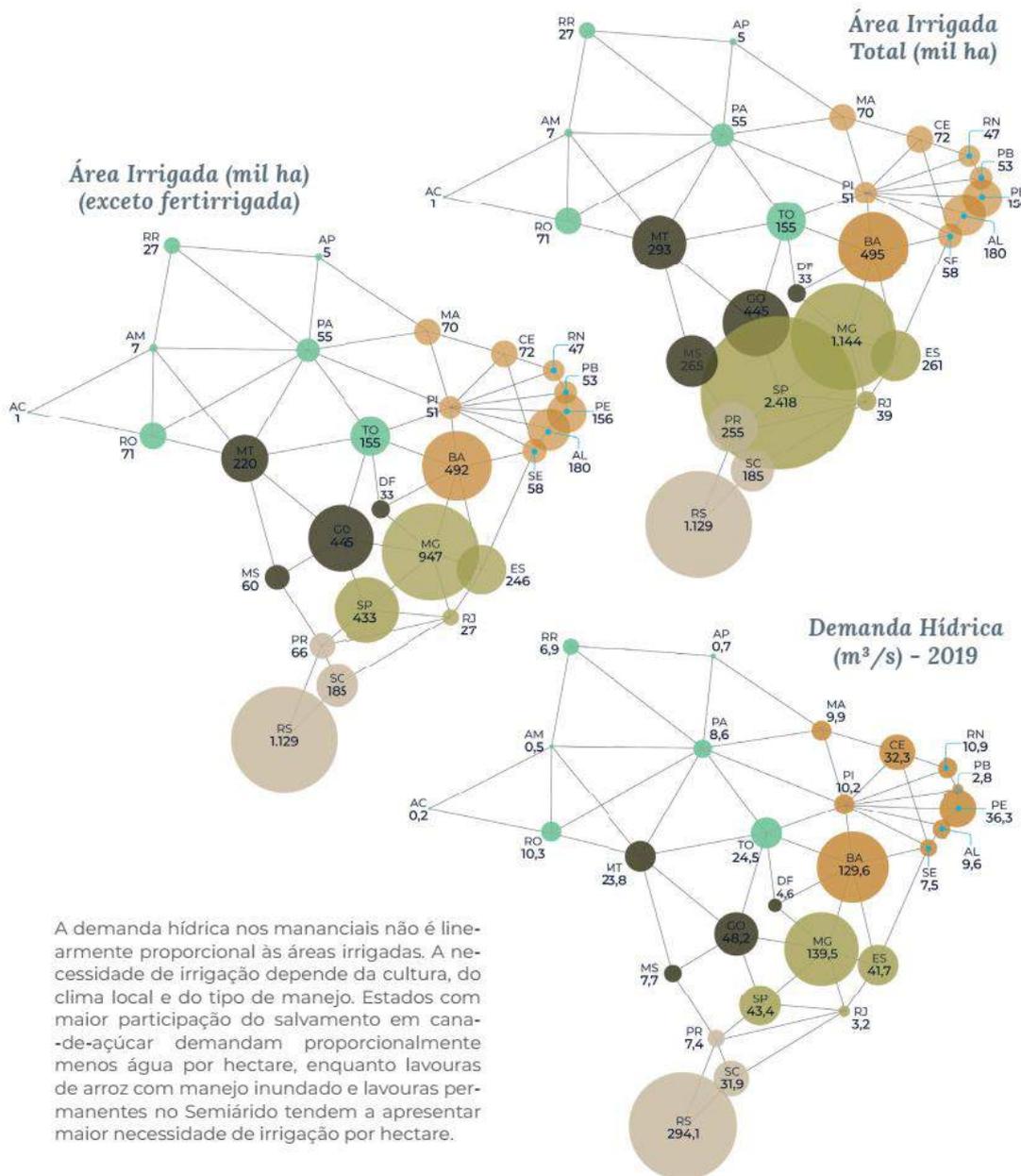


Figura 5. Área equipada (total e irrigada) e demanda hídrica de mananciais por unidade da federação. Atlas Irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

As análises de variabilidade e mudança do clima demonstram a necessidade de contínuo aprimoramento das bases de dados climáticas e de um planejamento robusto que adeque a expansão da irrigação para além da visão comum de que o clima passado se reproduzirá no futuro em magnitudes e distribuição espaço-temporal similares.

27.4 Polos de agricultura irrigada

A elaboração e implementação do planejamento setorial de forma integrada ao planejamento de recursos hídricos (agenda azul) é essencial para que a atividade econômica se desenvolva de forma sustentável, tanto nas áreas de expansão quanto naquelas já

consolidadas. Os polos de agricultura irrigada (nacionais, regionais ou locais) são unidades territoriais fundamentais para o planejamento do setor e a implementação dos instrumentos das políticas. A delimitação dessas áreas e o detalhamento de seus atributos dão foco para a gestão e servem como vitrines para o desenvolvimento de outras iniciativas.

POLOS NACIONAIS DE AGRICULTURA IRRIGADA

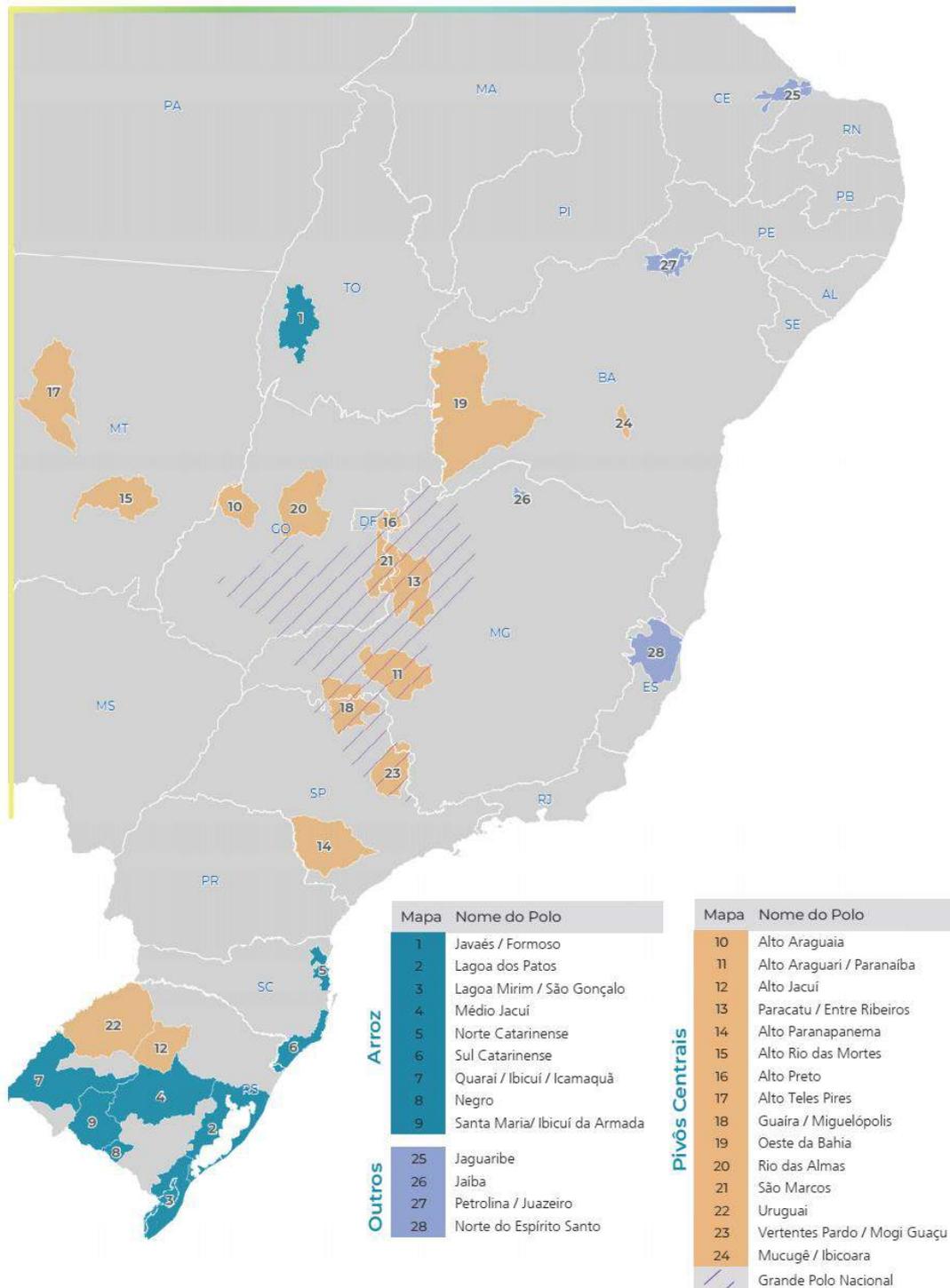


Figura 6. Polos nacionais de agricultura irrigada por bacia hidrográfica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Com base na área irrigada total, na concentração/densidade de ocupação, no potencial de crescimento e no crescimento observado a curto e médio prazos – foram identificados no

Atlas Irrigação 28 Polos Nacionais de Agricultura Irrigada (Figura 6), ou seja, áreas especiais de gestão dos recursos hídricos para a agricultura irrigada em escala nacional. Esses polos concentram 50% da área irrigada e 60% da demanda hídrica atual. A delimitação dos polos considera a divisão hidrográfica, levando em conta que a gestão dos recursos hídricos adota a bacia hidrográfica como unidade territorial.

Dentre os 28 Polos Nacionais de Agricultura Irrigada identificados, 9 possuem como tipologia predominante o arroz por inundação e em 15 predominam os pivôs centrais. As tipologias não indicam exclusividade do método ou da(s) cultura(s) irrigada(s), mas o padrão predominante.

O arroz inundado é a tipologia mais presente em tradicionais áreas produtoras do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, além do sudoeste do Tocantins nas bacias dos rios Javaés e Formoso, totalizando nove polos - muitos deles limítrofes, mas em bacias hidrográficas diferentes. Nesses polos consolidados há menor perspectiva de expansão da irrigação e parte de seu potencial estimado pode estar relacionado, na verdade, à própria rotação de uso da terra onde áreas vizinhas rotacionam o cultivo do arroz.

Os 15 polos nacionais de pivôs centrais dedicam-se predominantemente à produção de grãos (soja, milho, feijão, algodão etc.), sendo a maior parte deles no Cerrado, mas também em regiões de transição entre o Cerrado e a Amazônia (Alto Teles Pires) e entre a Mata Atlântica e o Pampa (Uruguai e Alto Jacuí), além de Mucugê-Ibicoara na Caatinga. Os polos estão distribuídos em sete unidades da federação (BA, DF, GO, MT, MG, SP e RS). No polo Paracatu/Entre Rios (MG) a irrigação de cana-de-açúcar por pivôs e outros métodos de aspersão também é relevante; e no polo Mucugê-Ibicoara o perfil de culturas é diferente dos demais, predominando a batata e o café.

O crescimento recente e o elevado potencial de expansão permitem também delimitar um Grande Polo Nacional de irrigação por pivôs, formados por seis polos nacionais na região central do Brasil e outras áreas próximas de expansão, nas regiões hidrográficas dos rios Paraná e São Francisco. Nessa grande mancha a expansão é acelerada e novos polos estão em formação.

Nos demais quatro polos nacionais, três estão localizados no Semiárido: predomina a fruticultura e a cana-de-açúcar em Petrolina/Juazeiro (PE/BA) e em Jaíba (MG); e a fruticultura no Jaguaribe e bacias costeiras vizinhas (CE/RN). No Norte do Espírito Santo, predomina o café e há também expansão de pivôs centrais. Os métodos de irrigação são também diversificados nesses polos, sendo mais expressiva a irrigação localizada (microaspersão e gotejamento).

A classificação dos polos nacionais é dinâmica e pode ser ajustada de acordo com objetivos específicos de análise ou com as políticas públicas específicas a serem desenvolvidas. Polos regionais, estaduais e locais também podem ser identificados com base nas informações do Atlas Irrigação, e podem ser detalhados em trabalhos específicos nesses recortes territoriais.

A delimitação dessas áreas e o detalhamento de seus atributos dão foco para a gestão e servem como vitrines para o desenvolvimento de outras iniciativas. O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) formalizou em 2019 e 2020 oito polos nacionais, englobando 119 municípios. O caminho da segurança hídrica para a irrigação requer a continuidade do reconhecimento de polos de agricultura irrigada tanto pelo MDR quanto pelos Estados (na agenda setorial), assim como pelos órgãos gestores de recursos hídricos (agenda azul). E, mais importante, o acompanhamento e a execução das ações previstas na carteira de projetos (ou instrumento similar) desses polos.

27.5 Caminhos para a segurança hídrica

A busca pela segurança hídrica, atual e futura, da agricultura irrigada depende de um esforço integrado de políticas, instituições e instrumentos de gestão. Os dados atualizados do Atlas Irrigação reiteram um caminho desafiador para a expansão sustentável da atividade, destacando-se as seguintes conclusões: a agricultura irrigada tem crescente e relevante impacto na economia agrícola e agroindustrial; contribui decisivamente para a modernização produtiva e a segurança alimentar; possui elevada dinâmica territorial; apresentou expansão recorde na última década; é vulnerável aos impactos negativos da variabilidade e possíveis mudanças do clima; há um baixo nível de regulamentação e implementação da Política Nacional de Irrigação e pouca integração com as ações da Política Agrícola.

A seguir são apresentadas algumas recomendações e reflexões como contribuições para a segurança hídrica da agricultura irrigada, com foco nas agendas setorial e de recursos hídricos – agendas essas entendidas como necessariamente integradas, mas que possuem em seu núcleo diferentes atores e instituições responsáveis por sua governança e implementação. Essa lista, não exaustiva, é um exercício de consolidação de temas de planejamento e gestão que surgem na interface entre as agendas. Os temas estão agrupados nos seguintes blocos: (i) monitoramento; (ii) planejamento; (iii) regularização do uso da água e (iv) instrumentos econômicos e incentivos.

Sobre o monitoramento da dinâmica física, hídrica e climática: (i) Monitoramento de áreas irrigadas: o levantamento das áreas irrigadas (área equipada) e o seu monitoramento (acompanhamento da dinâmica dos calendários, safras e culturas associadas) são cruciais para o estabelecimento de um planejamento efetivo e para a implementação dos demais instrumentos. O arranjo institucional coordenado pela ANA nos últimos anos tem trazido importantes resultados para o setor, mas um arranjo de longo prazo com o maior comprometimento dos atores setoriais na produção e na aplicação dessas informações precisa ser estabelecido. Assim, não só a produção das informações deve ser priorizada, mas deve ocorrer consequência regulatória e impacto orçamentário das ações ou conclusões alcançadas nas respectivas Políticas (agrícola, de irrigação ou de recursos hídricos), (ii) Monitoramento do uso da água: por não haver uma linearidade entre áreas irrigadas e uso da água, essa linha de atuação deve ser reforçada com o contínuo aprimoramento de dados de entrada, parâmetros de cálculo e metodologias. A iniciativa privada organizada pode contribuir decisivamente com dados mais detalhados sobre a dinâmica agrícola e o manejo da água, que permitam aferir a qualidade e a precisão de levantamentos mais gerais. Em polos de irrigação, o monitoramento deve ser mais detalhado, contando com técnicas de sensoriamento remoto e intensificação de trabalhos de campo. Recentemente, a ANA lançou o aplicativo SSEBop-BR (*Operational Simplified Surface Energy Balance*), desenvolvido em parceria com o USGS (*United States Geological Survey*), disponível no SNIRH e que permite a estimativa da evapotranspiração real em qualquer ponto do território nacional. O trabalho está documentado na publicação *Estimativas de Evapotranspiração Real por Sensoriamento Remoto no Brasil* (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020) e é uma das frentes de trabalho em andamento na ANA para aprimoramento das estimativas de uso da água em polos nacionais, e (iii) Modelos e estimativas climáticas: as estimativas de evapotranspiração e de chuva alteram expressivamente o cálculo de demanda hídrica, sendo a chuva o parâmetro mais crítico. A rede de monitoramento apresenta cobertura heterogênea e baixo nível de consistência dos dados, incluindo reiteradas falhas ou ausências de leituras. Produtos de sensoriamento remoto provenientes de estações orbitais apresentam grande potencial de aplicação, mas podem também introduzir viés grave na magnitude e na distribuição das estimativas. Diferentes produtos devem continuar sendo aprimorados no sentido de subsidiar as estimativas de uso da água e, sempre que possível, recomendar a utilização de um produto comum para as aplicações gerais em escala nacional. Aos dados atuais e históricos sobre o clima, somam-se os modelos de mudança futura do clima, imprescindíveis em qualquer estudo

de planejamento e de expansão da agricultura irrigada ou de sequeiro. As mudanças do clima tanto podem impactar negativamente a irrigação, quanto é ela uma das estratégias possíveis de mitigar os impactos.

Sobre ações relacionadas ao planejamento: (i) Organização do Estado: em que pese a importância local dos projetos públicos, a maior parte da expansão da irrigação tem se dado, e deverá continuar ocorrendo, por meio de iniciativas privadas individuais ou de iniciativas privadas conjuntas, organizadas na forma de cooperativas ou de associações. Normalmente, o sucesso de alguns irrigantes atrai outros e a expansão segue a lógica de mercado, nem sempre com aderência às políticas governamentais e a um planejamento local e regional. Nesse contexto, é importante fortalecer o planejamento e organizar a atuação do Estado como indutor e parceiro desse desenvolvimento, principalmente no nível federal, em articulação com estados, municípios e a iniciativa privada, (ii) Sistemas Nacionais de Informação: o Sistema Nacional de Informações sobre Irrigação - SINIR não teve o avanço esperado, tendo sido desenvolvido apenas um módulo inicial em fase de testes sobre projetos públicos. É fundamental que a regulamentação da Política Nacional de Irrigação defina o MDR como a entidade federal responsável pela coordenação unificada do SINIR, em estreita colaboração com o Mapa e a ANA na operacionalização e interligação do SINIR com o SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Com os Estados, representações setoriais e outros atores, a coordenação do MDR deve se dar na coleta e recepção de informações, bem como nos formatos de saída das informações para a sociedade, (iii) Planos de Irrigação: a Política de Irrigação também prevê os planos como instrumento, devendo ser elaborados em consonância com os Planos de Recursos Hídricos. São previstos planos com abrangência nacional e estadual/distrital. O Plano Nacional de Irrigação terá caráter orientador para a elaboração dos planos e projetos de irrigação pelos Estados e pelo Distrito Federal e caráter determinativo para a implantação de projetos de irrigação pela União. O Atlas Irrigação pode ser adotado como diagnóstico e prognóstico preliminar do Plano Nacional de Irrigação, sendo seus resultados submetidos à consulta pública setorial para debate, ajustes e complementações, com posterior formalização dessas etapas. Restaria a complementação do plano com elementos do conteúdo mínimo previsto na Política - Lei 12.787/2013 (BRASIL, 2013).

Sobre a regularização do uso da água para irrigação: (i) Organização dos usuários: decisões apenas na escala da propriedade podem trazer impactos negativos coletivos em uma bacia hidrográfica. A organização dos usuários de água, em escala de bacia – dentro dos limites impostos pelas respectivas autorizações de uso da água e com o acompanhamento dos órgãos gestores – empodera os irrigantes nas análises de risco e na gestão. Facilita ainda a comunicação e a construção de consensos, podendo resultar inclusive em propostas de revisão de critérios de outorga, de capacitação dos usuários e de criação de áreas sujeitas à restrição de uso. Essa governança local (lideranças políticas, agentes públicos, produtores e suas representações) também permite maior perenidade das ações implementadas, (ii) Reservação de Água: a definição de barramentos e reservatórios como de interesse social é uma demanda recorrente dos irrigantes. Pelo novo código florestal - Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012), a intervenção ou a supressão de vegetação nativa em área de preservação permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental (art. 8º). Portanto, essa caracterização facilitaria a construção de barragens, reservatórios e instalações necessárias ao acúmulo, captação e condução de água com vistas ao apoio à produção agropecuária. Entende-se que a expansão de reservatórios para irrigação, com ou sem a sua definição como de interesse social, deve ser equacionada como elemento central da segurança hídrica para o setor. Os diferentes regulamentos estaduais também causam assimetrias que podem prejudicar o desenvolvimento sustentável. A definição de regras claras e operacionais do ponto de vista ambiental e hídrico contribuirá para essa agenda positiva, devendo ser priorizados barramentos de acumulação maiores e coletivos geridos pelos

irrigantes (ou conjunto de usuários de usos múltiplos beneficiados pelo empreendimento). A liberação irrestrita para a construção de milhares de pequenos reservatórios, sem regras gerais, poderá criar a falsa ideia de segurança hídrica, mas que no curto prazo não se confirmará pela baixa capacidade de guardar água desses reservatórios e pela interferência que podem gerar em reservatórios e outros usos já instalados a jusante, (iii) Outorga e Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos: a regularização (outorga e/ou cadastro) dos usuários de água é obrigatória junto aos órgãos gestores de recursos hídricos dos Estados e do Distrito Federal ou, em corpos hídricos de domínio da União, da ANA. Dentre os aspectos mais relevantes de aprimoramento das outorgas e cadastros para os irrigantes, pode-se destacar: automatização e digitalização do processo, sazonalidade da autorização e outorgas coletivas e preventivas. Esses instrumentos vêm sendo aprimorados conceitual e operacionalmente desde a promulgação da Lei das Águas - Lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997) e das políticas estaduais de recursos hídricos. Ainda há muitos aspectos que podem ser melhorados, mas que também exigem o fortalecimento financeiro e no quadro técnico dos órgãos gestores. A ANA aprimorou critérios e a automatização da outorga em corpos da União, que ocorre desde 2017 por meio do Sistema Federal de Regulação de Uso (REGLA). Esse Sistema, lançado em 2017, tornou mais ágil o processo de solicitação, acompanhamento e análise dos pedidos, que passaram a ser realizados 100% online e, na maior parte das finalidades, sem a necessidade de envio de documentos em papel. No caso da irrigação, o fluxo automático do REGLA é adotado quando a área irrigada é menor que 100 ha, o comprometimento coletivo do manancial (balanço hídrico) é menor do que 70% da vazão de referência e o sistema é mecanizado. Caso o usuário concorde com os valores estimados, é dispensado da análise técnica manual, ou seja, a análise e emissão da outorga são automáticos, e (iv) Alocação negociada de água: outro importante instrumento de planejamento e de regulação, aprimora os processos de outorga e cadastro, principalmente em sistemas hídricos (reservatórios e trechos de rios) com situações de escassez de água e conflitos de uso. São termos de compromisso celebrados entre a autoridade outorgante e os usuários, com a participação do comitê da bacia, quando houver, visando a distribuição dos recursos hídricos da respectiva bacia hidrográfica. Costuma ser empregado para disciplinar os usos em sistemas hídricos assolados por estiagens intensas, com emergência ou forte potencial de conflito. O termo de alocação é pré-requisito para o estabelecimento de marco regulatório, que formaliza o processo por meio de resolução conjunta da ANA e do(s) Estado(s), aumentando a segurança jurídica das regras definidas para cada sistema hídrico específico. É um modelo a ser fortalecido não apenas nos moldes atuais, mas como inspiração para a autogestão dos usuários organizados coletivamente.

Sobre instrumentos econômicos e incentivos relacionados ao tema: (i) cobrança pelo Uso: a cobrança é um instrumento instituído pela Política Nacional de Recursos Hídricos tendo como objetivos centrais: reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. A arrecadação da cobrança deve ser aplicada na bacia de origem. Uma agenda positiva para a segurança hídrica recai sobre a maior participação dos usuários e a pactuação de planos de aplicação dos recursos onde o preço pago seja justo e ao mesmo tempo o montante possa ser revertido em ações efetivas na bacia. Entretanto, caso os valores cobrados sejam baixos ou falte estudos mais acurados de viabilidade econômica, a capacidade de investimento tenderá a ser bastante limitada e os benefícios da cobrança pouco sensíveis aos usuários, (ii) pagamento por Serviços Ambientais: importante instrumento econômico, o PSA tem ganhado destaque no planejamento das bacias e em outras ações dos órgãos de meio ambiente e de recursos hídricos. O PSA estimula os produtores a investirem no cuidado do trato com as águas, recebendo apoio técnico e financeiro para implementação de práticas conservacionistas. A ANA mantém o Programa Produtor de Água (<http://produtordeagua.ana.gov.br/>), que é uma inspiração para outras iniciativas de PSA e,

futuramente, pode ser pensado como mecanismo de compensação ou de reinvestimento associado à cobrança pelo uso, (iii) zoneamento do crédito e do seguro rural: o crédito e o seguro são essenciais para o desenvolvimento da irrigação. Atualmente, não se conta com um zoneamento desses instrumentos que busque estimular o desenvolvimento de áreas irrigadas com melhor aptidão e desestimular a instalação de produtores em zonas ou períodos de risco (aquelas com capacidade de suporte baixa ou já esgotada). Os Zoneamentos Agrícolas de Risco Climático (ZARC) são um importante instrumento para os programas de garantias e de crédito, que podem ser aprimorados para as especificidades da irrigação. A base técnica do Atlas Irrigação, em conjunto com os ZARC e outros critérios técnicos, pode ser utilizada para o zoneamento do crédito, definindo minimamente áreas de alto, médio e baixo risco, o que, em última instância, contribui para a própria efetividade do financiamento subsidiado na sua função de desenvolvimento regional, e (iv) reúso de efluentes da indústria e do saneamento: a agricultura irrigada pode ser uma importante aliada para diminuição ou mitigação da poluição hídrica. O setor sucroenergético realiza o maior reúso agroindustrial do Brasil com a fertirrigação da cana-de-açúcar a partir dos efluentes gerados no processamento da cana. Programas, regulamentos e estudos específicos devem ser fortalecidos no sentido de aprimorar e ampliar o potencial da fertirrigação. A cana-de-açúcar e outras “culturas industriais” são os principais focos para reúso de efluentes de outros setores, em especial de outras agroindústrias e das cidades. O novo papel da ANA na regulação do saneamento, trazido pela Lei Federal 14.026/2020 (BRASIL, 2020), deve trazer sinergias, em especial na discussão do uso do efluente sanitário tratado na agricultura. Espera-se que a intensificação do reúso diminua problemas de qualidade de água nos corpos receptores, especialmente em regiões de cabeceira, atenua a demanda nos mananciais e fortaleça o agronegócio.

Em síntese, essa lista de temas para o aumento da segurança hídrica da agricultura irrigada, o seu desenvolvimento e a sua implementação tornam-se ainda mais relevantes nesse momento de reforço da Política Agrícola relacionada à irrigação, incluindo a regulamentação e a implementação de dispositivos da Política Nacional de Irrigação, bem como de elaboração do novo Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 (instrumento-chave do novo ciclo de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos).

27.6 Considerações finais

Mais do que uma publicação específica, o Atlas Irrigação é uma estratégia da ANA em contínuo desenvolvimento, e que reúne bases de dados, estudos técnicos, arranjo institucional e parcerias, que, em conjunto, representam atribuições da Agência e subprodutos contribuem para a agricultura irrigada na sua interface com os recursos hídricos.

Dentre os principais indicadores brasileiros consolidados na segunda edição do Atlas e que se encontram detalhados em seu conteúdo, pode-se destacar: (i) O Brasil totaliza 8,2 milhões de hectares equipados para irrigação - 35,5% com fertirrigação com água de reúso (2,9 Mha) e 64,5% com irrigação com água de mananciais (5,3 Mha). A demanda de captação de água em mananciais foi superior a 941 mil litros por segundo em 2019, o que corresponde a 29,7 trilhões de litros ao ano, (ii) O setor privado ocupa 96,2% da área irrigada. A área em produção que tem origem em projetos públicos é de 3,8% (200 mil hectares), que geram 580 mil empregos diretos e indiretos, em 79 projetos e 88 municípios, (iii) O Atlas apresenta um detalhamento dos 28 Polos Nacionais de Agricultura Irrigada, que concentram 50% da área irrigada e 60% da demanda hídrica, constituindo-se em áreas especiais para a gestão setorial e de recursos hídricos em escala nacional, e (iv) Até 2040, estima-se a incorporação de 4,2 milhões de hectares irrigados (+76%), com um impacto menor sobre a expansão do uso da água (+66%) devido a tendência de emprego de métodos mais eficientes (Figura 7).

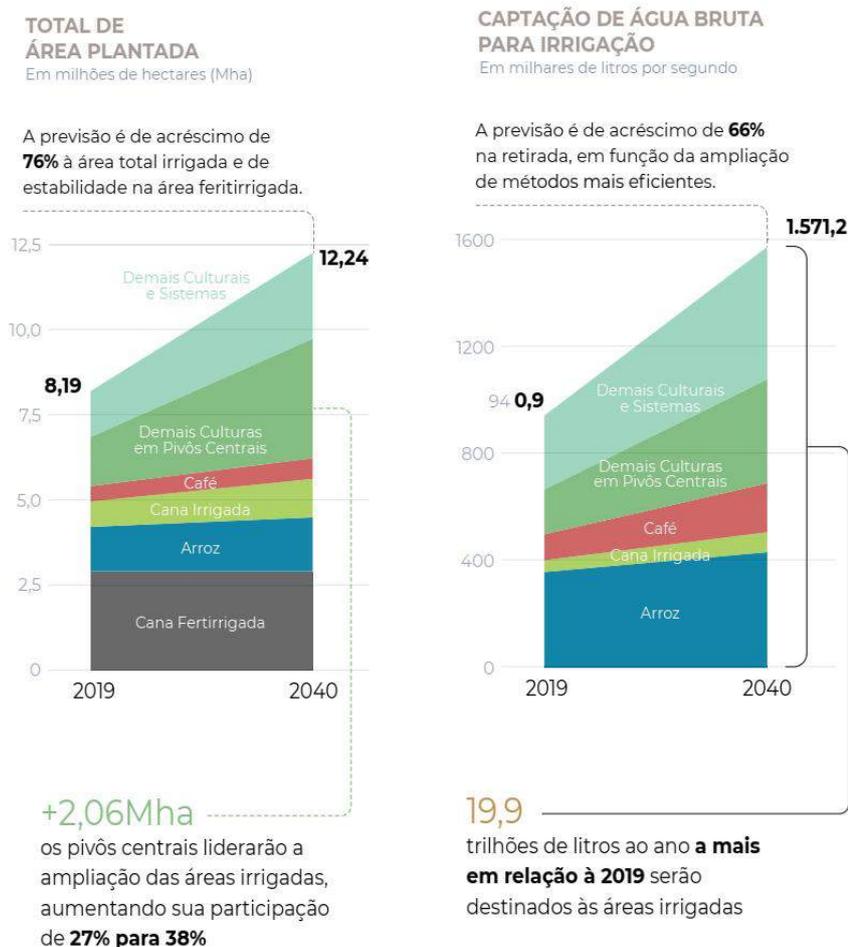


Figura 7. Síntese do diagnóstico (2019) e das projeções (2040) de áreas irrigadas e uso da água no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

O Atlas Irrigação tem dentre seus objetivos contribuir para o reconhecimento da importância da atividade na sociedade e para a economia da moderna agricultura irrigada brasileira e, ao mesmo tempo, fornece uma base técnica robusta para acompanhamento e o planejamento da expansão do setor, notadamente no que se refere à segurança hídrica e produtiva. O Atlas ganha ainda mais importância ao tornar-se base comum tanto para a Política Nacional de Irrigação quanto para a Política Nacional de Recursos Hídricos, considerando ainda a elaboração em andamento do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040.

Com a perspectiva de expansão da agricultura irrigada em 200 mil hectares ao ano, gerando uma pressão adicional de captação de água bruta de 2 trilhões de litros ao ano, essa base técnica terá o seu uso mais nobre no desenvolvimento técnico e nas tomadas de decisão sobre temas-chave para a segurança hídrica e produtiva da atividade. Dentre os instrumentos em escala nacional, pode-se destacar a urgência de elaboração do Plano Nacional de Irrigação previsto na Política Nacional de Irrigação promulgada em 2013.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2. Ed. Brasília, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Companhia Nacional de Abastecimento. **Mapeamento do arroz irrigado no Brasil**. Brasília: ANA & Conab, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Coefficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada**. Brasília, 2019c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Embrapa. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014: relatório síntese**. Brasília: ANA & Embrapa, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil**. Brasília, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)**. Brasília: ANA & Embrapa, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil**. Brasília, 2019a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, 2019b.

BRASIL. Lei 9433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.470, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei 12.787 de 11 de Janeiro de 2013. Dispõe sobre a política nacional de irrigação. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.4, 14 jan. 2013.

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.1, 28 mai. 2012.

BRASIL. Lei 14.026 de 15 de Julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p.1, 16 jul. 2020.

CAPÍTULO 28

28 USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA AGRICULTURA IRRIGADA

Luiz Antônio Lima

Resumo

O uso de água subterrânea na agricultura irrigada tem crescido e permitido aos usuários deste tipo de água sucesso na irrigação. Existem, por exemplo, fazendas com mais de mil hectares irrigados apenas com água subterrânea. Este capítulo traz alguns aspectos importantes sobre uso dessa água, desde importantes conceitos e procedimentos para sua exploração, até aspectos de qualidade muito importantes pois os sistemas de irrigação e até mesmo as plantas podem ser afetados pelos diferentes íons presentes em água subterrânea. Outro capítulo deste mesmo livro apresenta detalhes muito interessantes da região oeste da Bahia, onde a água subterrânea é de extrema importância para o sucesso da irrigação, mas segundo informações da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (2020), o nível do aquífero Uruçuia já terá caído 5 metros desde 2012.

28.1 Introdução

Existem no planeta Terra, cerca de 1386 milhões de km³ de água sendo 97,5% em oceanos por água oriunda de processos hidrogeológicos como erupção de vulcões que geraram chuvas capazes de solubilizar sais bastante solúveis como cloreto de sódio, o que explica a predominância deste sal na água do mar (pelo menos 30 g L⁻¹). Da água salina, cerca de 1% encontra-se em aquíferos subterrâneos. Portanto, da água do planeta, 2,5% é água doce dos quais dois terços estão congelados e um terço está sobre a superfície ou no subsolo. Enquanto nos rios existem 1250 km³ de água, na atmosfera são 13000 km³, em lagos de água doce 125000 km³ e como água subterrânea 10,55 milhões de km³ (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2010). Existe como água subterrânea cerca de 80 vezes mais água do que em lagos e rios.

O escoamento de água superficial no Brasil é de 255.000 m³ s⁻¹, sendo que 80% fluem na bacia Amazônica. O escoamento de água subterrânea é estimado pela ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020) em 14.650 m³ s⁻¹. São 2,4 milhões de poços, mas apenas 326 mil são registrados. O uso de água subterrânea para irrigação tem aumentado em função da escassez de fontes de água superficial e restrições impostas pelos órgãos ambientais para, por exemplo, construção de barramentos em calha de córregos. Por essa razão, a agricultura irrigada vem se transformando, buscando alternativas para obtenção de água para irrigação que possa ser bombeada com custos aceitáveis. Por exemplo, os custos associados a longas adutoras têm sido reavaliados e a alternativa de perfurar um poço capaz de abastecer um reservatório fora da calha do rio tem se tornado uma boa opção aos irrigantes. Neste caso, o poço é construído ao lado do reservatório e a água é bombeada também nos meses chuvosos para armazenar água para o período mais seco.

O consumo de água na agricultura irrigada depende do sistema de irrigação empregado. Aspersão e pivô central consomem em torno de 0,7 a 1,2 L s⁻¹ para cada hectare irrigado. Se a irrigação for por gotejamento este consumo pode variar de 0,4 a 0,8 L s⁻¹ ha⁻¹. O método de irrigação por superfície (inundação ou sulcos) consome de 2,0 a 4,0 L s⁻¹ por hectare e, pelo alto consumo, tem sido evitado.

Para melhor entendimento da água subterrânea é preciso compreender algumas definições da hidrogeologia tais como: **(i) aquíferos:** formação geológica capaz de armazenar e transmitir água. A capacidade de armazenamento pode ser descrita pela porosidade efetiva,

ou seja, porosidade capaz de liberar água sob ação da força da gravidade. Aquíferos artesianos são aqueles que a água se encontra confinada sob pressão maior que a pressão atmosférica. Aquíferos freáticos são considerados aquíferos livres ou não confinados, (ii) aquíferos confinados: formações geológicas de permeabilidade muito baixa, comum como camada confinante de aquíferos confinados, e (iii) aquíferos aquicludos: formações geológicas praticamente impermeáveis. Os aquíferos aquicludos podem provocar a formação de aquíferos em lente, constituídos de pequenos volumes de água armazenados sobre camadas impermeáveis (aquicludos).

Os aquíferos contêm água cuja qualidade depende da formação rochosa que também afeta a permeabilidade do aquífero. Os principais tipos de rochas são: (i) ígneas: rocha originada de um magma que, ao resfriar, solidifica com grau de cristalinidade variável. Exemplos: granito, basalto, (ii) sedimentares: rocha constituída pela acumulação de sedimentos. Exemplos: arenito, calcário, e (iii) metamórficas: rochas resultantes de transformações mineralógicas sob a ação de temperatura e/ou pressão. Exemplos: mármore (calcário recristalizado), quartzito (arenitos quartzosos recristalizados), gnaíse.

Os principais tipos de aquíferos podem ser agrupados em porosos ou granulares, fissural ou fraturado e cárstico. Os aquíferos porosos são formados principalmente de rochas sedimentares como arenito ou mesmo a partir de material fragmentado, não consolidado, como areia. A vazão de poços nesses aquíferos pode atingir grandes valores como 1000 m³/h. Os aquíferos fissurais são formados de rochas que não solubilizam em água, sem dissolução de seus constituintes, mas que apresentam fraturas formadas de esforços geológicos, capazes de armazenar e conduzir água. Esses aquíferos são formados em rochas ígneas. Os aquíferos cársticos são comuns de formações rochosas que dissolvem em água, como calcário. A solubilização permite a criação de fendas e até mesmo de cavernas que podem apresentar-se preenchidas com água.

A Tabela 1 apresenta os dados relativos aos principais aquíferos brasileiros.

Tabela 1. Reservas de água subterrânea no Brasil e vazões de poços (REBOUÇAS, 1998).

Aquífero (domínio)	Área (km ²)	Aquífero principal	Água (km ³)	Vazão (m ³ h ⁻¹)
Paraná (sedimentar)	1.000.000	Bauru-Cauã, Serra Geral, Botucatu	50.400	10 a 700
Amazonas (sedimentar)	1.300.000	Barreiras e Alter do Chão	32.500	10 a 400
Parnaíba (sedimentar)	700.000	Itapecuru, Cordas-Grajaú, Cabeças, Serra Grande	17.500	10 a 1000
Substrato alterado	4.000.000	roca alterada ou fraturas	10.000	5 a 10
Tucano-Recôncavo- Jatobá (sedimentar)	56.000	Marizal, Tacaratu	840	10 a 500
Depósitos diversos	773.000	Aluviões	411	2 a 40
São Luís-Barreirinhas (sedimentar)	50.000	São Luís, Itapecuru	250	10 a 150
Potiguar-Recife (sedimentar)	23.000	Barreiras, Açu-Beberibe	230	5 a 550
Alagoas-Sergipe	10.000	Marreiras, Marituba	100	10 a 350
Substrato aflorante	60.000	zonas fraturadas	80	0,1 a 5

A extensão do aquífero Guarany (Paraná) é de mais de 100 milhões de hectares, envolvendo vários países como Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. Em comparação, o aquífero americano Ogallala ocupa 44,5 Mha.

28.2 Estudos geofísicos

Existem várias técnicas geológicas capazes de investigar o meio subterrâneo em busca de possíveis aquíferos. Essas técnicas são agrupadas em métodos naturais que utilizam fenômenos naturais do planeta e métodos artificiais onde alguma perturbação é realizada para verificar sua reflexão, refração ou atenuação no meio subterrâneo. Entre os métodos naturais destacam-se a gravimetria que mede a aceleração da gravidade e a magnetometria que mede o campo magnético. Em ambos os casos, busca-se identificar anomalias que podem indicar variações geológicas. Entre os métodos artificiais destacam-se a refração sísmica, a eletroresistividade e o eletromagnetismo.

Eletroresistividade: baseia-se na lei de Ohm. Em vez de resistividade, pode-se medir a condutividade elétrica (inverso). Existem a condutividade metálica e a iônica. Enquanto a metálica é evidente em grafita e magnetita, a iônica aparece em rochas especialmente sedimentares. A condutividade elétrica depende da qualidade da água e da granulometria dos poros. Se em um gráfico é plotada a resistividade da rocha versus a resistividade da água, tem-se, em geral, uma reta cuja inclinação é definida como fator de formação (F). Rochas ígneas e metamórficas tem valores de F próximos de 100 enquanto calcários e arenitos variam de 50 a 100 e areias de 3 a 20. A resistividade típica das formações hidrogeológicas pode ser interpretada com auxílio da Tabela 2.

Tabela 2. valores típicos de resistividade de rochas do Nordeste do Brasil (FEITOSA *et al.*, 2008).

Rocha	Resistividade (Ohm.m)
Calcário	200 a 400
Rocha cristalina	50000
Aluviões argilosos	5 a 10
Aluviões arenosos	100 a 150
Arenito seco	40000
Arenito saturado	8000

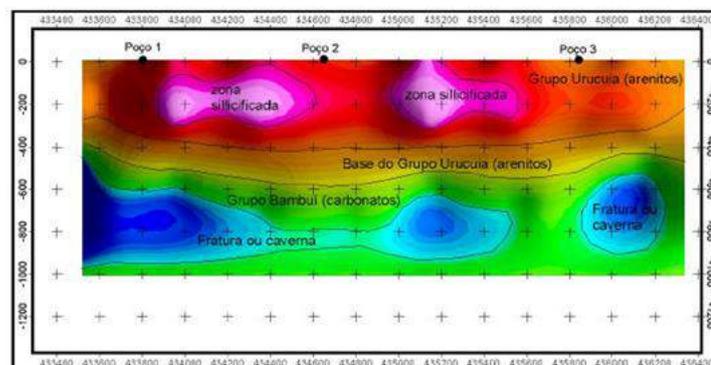


Figura 1. Perfil de eletro-resistividade do aquífero Urucuia sob em Luís Eduardo Magalhães (BA).

28.3 Exploração da água subterrânea

A exploração de água subterrânea se dá naturalmente pelo aproveitamento de nascentes e surgências, situações em que o lençol freático aflora na superfície do solo.

A exploração mais frequente é pela perfuração de poços que podem ser classificados em manuais ou cisternas, poços semi-artesianos e poços artesianos.

Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2010), os poços podem ser descritos como: (i) poço manual: "poço escavado com trado manual ou mecânico, com revestimento protetor, geralmente de alvenaria de tijolo cerâmico ou tijolinho, contendo orifícios abertos por onde afluem as águas do nível freático, bem como pelo fundo do poço". As cisternas são consideradas como poço manual, mas apresentam, em geral, diâmetro superior a meio metro, e (ii) poço profundo: este tipo de poço é escavado em material não consolidado (fragmentos ou sedimentos), podendo atingir também material consolidado como rocha sã. A parte escavada em sedimentos possui tubo de revestimento que pode ser opaco ou ter ranhuras (filtro). Em geral são perfurações de 6 a 14 polegadas de diâmetro, conforme vazão a ser explorada.

São considerados poços artesianos aqueles que captam água em aquífero confinado cuja pressão é suficiente para fazer com que a água jorre na superfície do solo, sem necessidade de bombas. Os poços em aquífero confinado, mas que necessitam de bombas são designados como poços semi-artesianos.

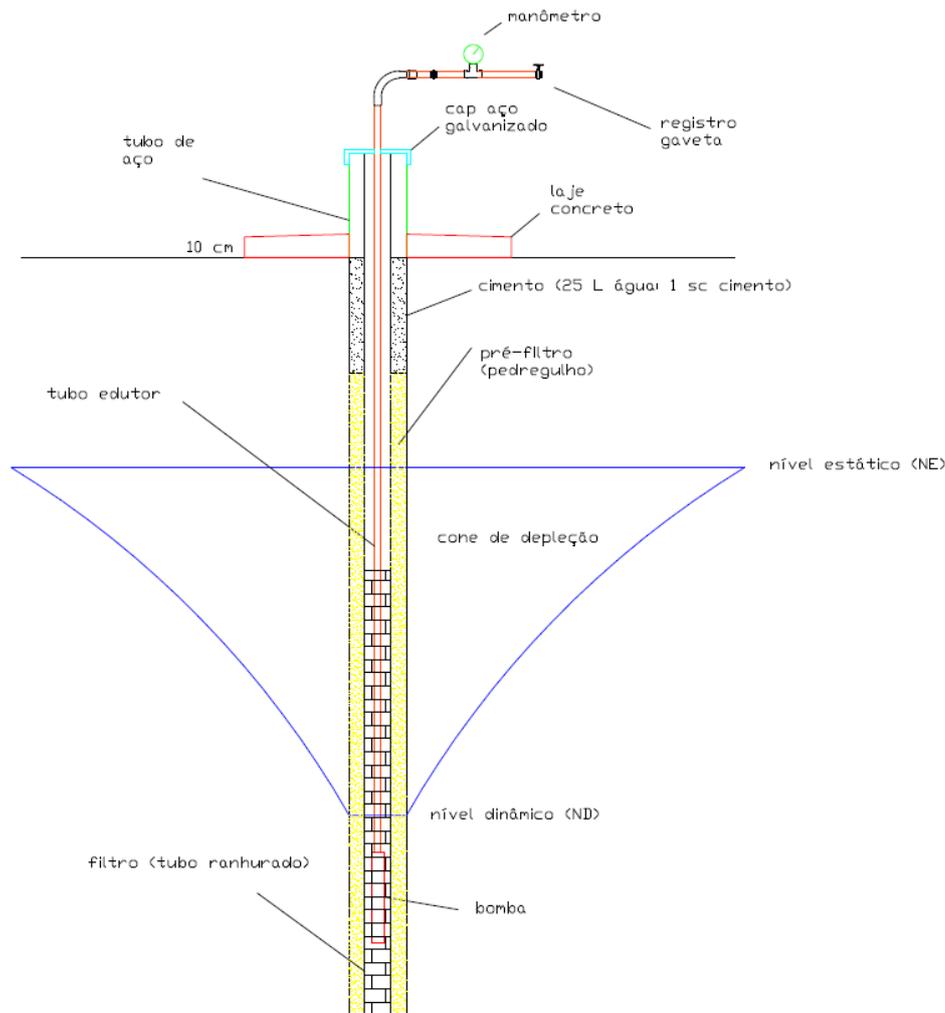


Figura 2. Perfil construtivo típico de um poço em aquífero sedimentar.

A perfuração de um poço busca ir além do nível freático. O nível de água no poço sem bombeamento algum é designado como nível estático. Por exemplo, um poço de 100 metros de profundidade, escavado em sedimento arenoso como no aquífero Urucuia (oeste da Bahia),

pode apresentar lençol freático a 12 metros de profundidade. Neste caso, o nível estático é de 12 m. Com essas características, diz-se que este poço tem coluna saturada de 88 metros (distância do nível estático ao fundo do poço). Se o poço for explorado, certamente será instalada no interior do poço uma bomba. Quando esta bomba for ligada, o ideal é que o rebaixamento do nível de água não ultrapasse 70% da coluna saturada. Neste caso, o rebaixamento não deveria ser superior a 70% de 88m = 61,6 metros. Se o nível estático era de 12 metros e ocorrer um rebaixamento de 61,6 m, o novo nível de água será de 73,6 m, conhecido como nível dinâmico recomendado. Neste caso, certamente a bomba estará numa profundidade ainda maior que o nível dinâmico. A submersão da bomba (distância entre o nível dinâmico e a bomba) deve ser no mínimo de 15 metros. Alguns instaladores preferem colocar a bomba bem próximo do fundo do poço, respeitando uma distância mínima de cerca de 3 metros.

Quando a água é bombeada do interior do poço, o nível freático tem seu formato modificado, criando-se um cone de depleção, criado pela água depleta do aquífero. Como o bombeamento não ocorre durante 24 horas por dia, o período sem bombeamento, chamado de período de recuperação, destina-se ao preenchimento do cone de depleção. O formato típico de um poço em aquífero granulado pode ser visualizado na Figura 2.

O desenho do poço ilustrado (Figura 2) pode variar conforme o perfil geológico local. Mesmo os elementos presentes tais como filtro, pré-filtro e outros podem variar. As normas construtivas para poços são definidas pela NBR 12212 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Em resumo, as dimensões da bomba atendem a vazão que se pretende explorar, desde que o aquífero sendo explorado seja capaz de produzi-la. A distância entre a bomba e o tubo filtro é de 25 mm (1 polegada) de cada lado. A espessura mínima do pré-filtro é de 75 mm (3 polegadas). Assim, percebe-se que o diâmetro do tubo filtro é o diâmetro da bomba acrescido de 2 polegadas. Já o diâmetro do furo é o diâmetro do tubo filtro acrescido de 6 polegadas. Essas dimensões precisam ser estabelecidas antes da perfuração do poço.

O dimensionamento do pré-filtro e da ranhura do filtro dependem de análises granulométricas e pode ser realizado com auxílio do fluxograma descrito na Figura 3.

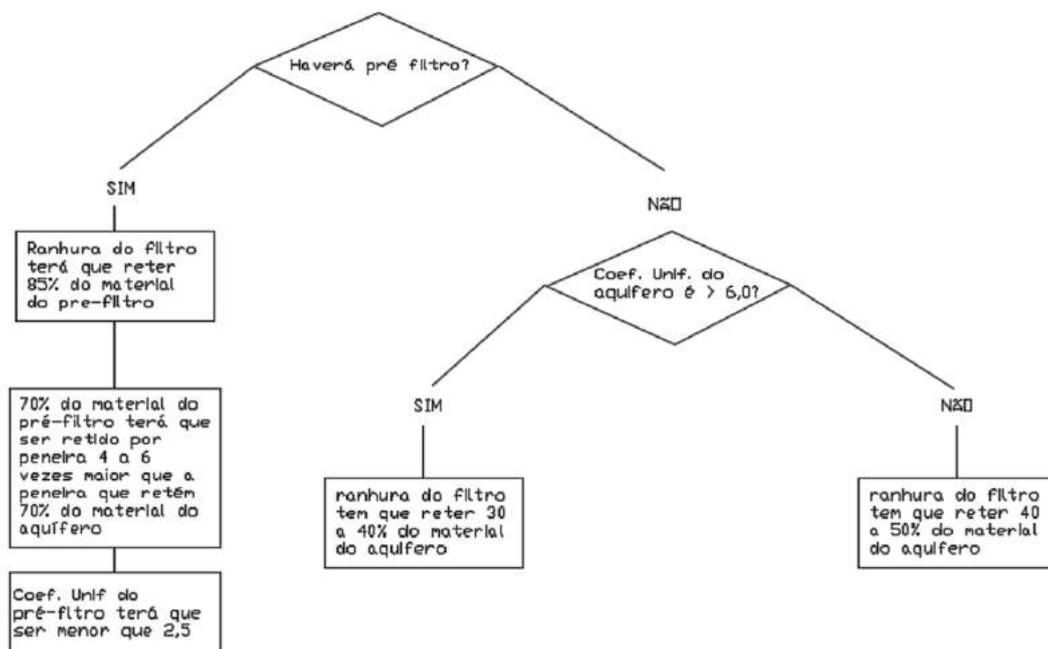


Figura 3. Fluxograma para escolha de filtros e pré-filtros.

Após passar o material granular em jogo de peneiras, o coeficiente de uniformidade é calculado como:

$$Coef. Unif. = \frac{\text{abertura que retém 40\%}}{\text{abertura que retém 90\%}} = \frac{\text{abertura que passa 60\%}}{\text{abertura que passa 10\%}} \quad (1)$$

28.4 Hidráulica da água subterrânea

A descrição matemática do movimento de água subterrânea obedece a equação de Darcy. O movimento da água pode ser classificado como laminar ou turbulento se, respectivamente, o número de Reynolds for menor que 1,0 ou maior que 10,0. É considerado movimento transitório o fluxo com número de Reynolds entre 1,0 e 10,0. O procedimento para cálculo obedece a seguinte equação:

$$NR = \frac{vd}{\vartheta} \quad (2)$$

Onde v é a velocidade real da água nos poros (m/s), d é o diâmetro médio das partículas do aquífero (m) e ϑ é a viscosidade cinemática (m²/s). O valor da viscosidade da água a 20°C é de $1,00 \times 10^{-6}$ enquanto para 4°C é de $1,52 \times 10^{-6}$ m²/s. Estes números permitem concluir que quanto maior a temperatura da água maior será o número de Reynolds.

O movimento da água subterrânea obedece a equação de Darcy escrita como:

$$q = K \frac{dH}{dx} \quad (3)$$

em que K se refere à condutividade hidráulica, H ao potencial total (potencial de pressão + potencial gravitacional) e x à distância percorrida. O valor da condutividade hidráulica é influenciado por propriedades do meio poroso e do próprio fluido (água), podendo ser descrito como:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} \text{ ou simplesmente } K = k \frac{g}{\vartheta} \quad (4)$$

O peso específico (γ) pode ser calculado pelo produto da densidade da água (ρ) e a aceleração da gravidade (g). A variável k representa a permeabilidade intrínseca e a variável μ representa a viscosidade absoluta da água. Percebe-se pela equação acima que o aumento da temperatura da água que diminui a viscosidade absoluta, aumenta, portanto, a condutividade hidráulica. Para temperatura de 20 graus a viscosidade cinemática é de $1,003 \times 10^{-6}$ m²/s e para 70°C é de $0,413 \times 10^{-6}$ m² s⁻¹. O aquífero do Rio Grande do Norte, na região de Mossoró, armazena água com temperaturas próximas de 70°C, o que indica que a água flui muito mais facilmente no meio poroso. A velocidade real da água nos poros (v) é obtida dividindo-se o fluxo de Darcy (q) pela porosidade.

Outro parâmetro bastante empregado na hidrologia subterrânea é a transmissividade (T), definida como produto da condutividade hidráulica (K) e a espessura da camada de fluxo (b). Outro parâmetro bastante utilizado é a vazão específica, definida como vazão extraída de um poço por metro de rebaixamento da carga hidráulica. A produtividade de um poço pode ser classificada conforme Tabela 3.

Os aquíferos também são caracterizados pelo coeficiente de armazenamento, simbolizado pela letra S . Trata-se do volume (m³) de água que pode ser extraído por metro quadrado de área por metro de rebaixamento da carga hidráulica. Os valores variam de 0,00001 a 0,01.

Tabela 3. Produção de aquíferos (valores típicos de alguns parâmetros) (DINIZ *et al.*, 2014).

Produtividade	Vazão específica (m ³ h ⁻¹ m ⁻¹)	Transmissividade (m ² dia ⁻¹)	Cond. Hidráulica (m dia ⁻¹)	Vazão (m ³ h ⁻¹)
Muito alta. Aquíferos de destaque nacional. Abastece cidades e grandes irrigações (>25 ha)	>4,0	>1000	>10	> 100
Alta. Média nacional. Abastece cidades e irrigações de porte médio (10 a 25 ha)	2,0 a 4,0	100 a 1000	1 a 10	50 a 100
Moderada. Abastecimento local e pequenas irrigações (<10 ha)	1,0 a 2,0	10 a 100	0,1 a 1,0	25 a 50
Geralmente baixa. Abastecimento local ou consumo privado	0,4 a 1,0	1 a 10	0,01 a 0,1	10 a 25
Geralmente muito baixa. Fornecimento contínuo dificilmente são garantidos	0,04 a 0,4	0,1 a 1,0	0,001 a 0,010	1 a 10
Pouco produtivo. Fornecimentos insignificantes, restritos a bombas manuais	< 0,04	< 0,1	<0,0010	< 1,0

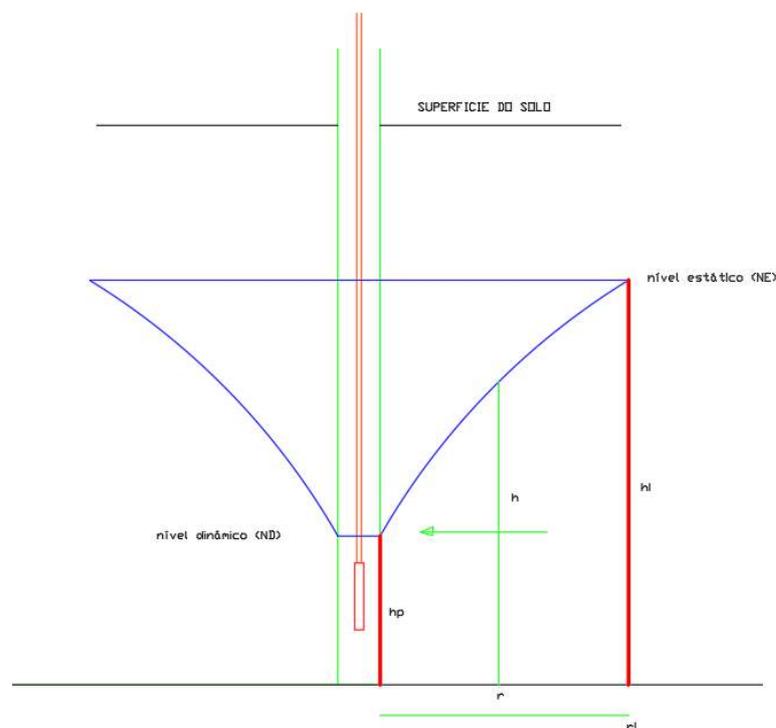
28.5 Movimento de água em direção ao poço em aquífero sedimentar livre

Considerando a Figura 4, r_i é o raio de influência do poço, h_p é a carga hidráulica no poço e h_i a carga hidráulica no final do raio de influência, pode-se escrever a seguinte equação para vazão do poço (Q):

$$Q = \text{área. fluxo} \quad (5)$$

$$Q = (2\pi r h) \cdot \left(K \frac{dh}{dr}\right) \text{ ou } Q dr = 2\pi K h dh \text{ ou } Q \int_{r_p}^{r_i} dr = 2\pi K \int_{h_p}^{h_i} h dh \quad (6)$$

$$Q = \pi K \frac{(h_i^2 - h_p^2)}{LN\left(\frac{r_i}{r_p}\right)} \quad (7)$$

**Figura 4. Movimento de água em direção ao poço em aquífero sedimentar livre.**

Exemplo: Calcular a vazão do poço de 20 cm de diâmetro e 100 metros de profundidade num aquífero com condutividade hidráulica de $0,01 \text{ m h}^{-1}$. O nível estático está a 10 metros e o nível dinâmico a 50 m. O raio de influência é de 220 m. Resposta: $22,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

28.6 Movimento de água em direção ao poço em aquífero confinado

Considerando a Figura 5, r_i é o raio de influência do poço, h_p é a carga hidráulica no poço e h_i a carga hidráulica no final do raio de influência, pode-se escrever a seguinte equação para vazão do poço (Q).

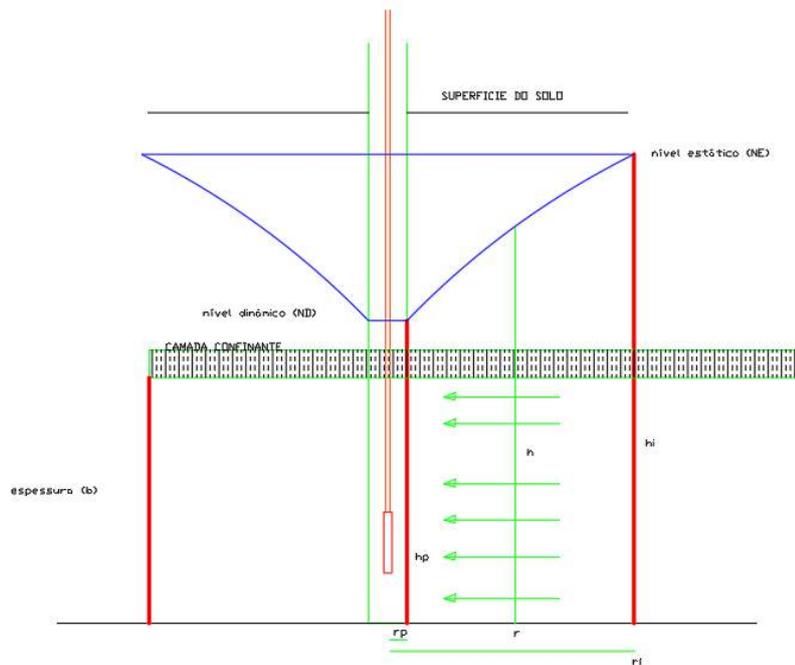


Figura 5. Movimento de água em direção ao poço em aquífero confinado.

$$Q = \text{área} \cdot \text{fluxo} \quad (8)$$

$$Q = (2\pi r b) \cdot (K \frac{dh}{dr}) \text{ ou } Q dr = 2\pi K b dh \text{ ou } Q \int_{r_p}^{r_i} dr = 2\pi K b \int_{h_p}^{h_i} dh \quad (9)$$

$$Q = 2\pi T \frac{(h_i - h_p)}{\text{LN}(\frac{r_i}{r_p})} \text{ onde } T = Kb \text{ (transmissividade)} \quad (10)$$

$$Q = \frac{2\pi T s}{\text{LN}(\frac{r_i}{r_p})} \quad (11)$$

em que s é o rebaixamento ocorrido no poço. Está fórmula é conhecida como equação de Thiem.

Exemplo: Calcular a vazão do poço de 20 cm de diâmetro e 100 metros de profundidade num aquífero com condutividade hidráulica de $0,01 \text{ m h}^{-1}$. O nível estático está a 10 metros e o nível dinâmico a 20 m. A camada de confinamento do aquífero está entre 40 e 50 metros. O raio de influência é de 220 metros. Resposta: $4,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

O raio de influência pode ser **estimado** a partir da equação de Theis (1935) que foi adaptada por Jacob (1946), com objetivo de simplificar os testes de bombeamento em regime transiente. Originalmente, a equação de Theis calcula o rebaixamento no poço como

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (12)$$

u é uma variável auxiliar que pode ser calculada como:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (13)$$

A função $W(u)$, conhecida como função do poço, pode ser representada pela série infinita:

$$W(u) = -0,5772 - LN(u) + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \dots \dots \quad (14)$$

No método proposto por Jacob (1946), a série acima é truncada do terceiro termo em diante e, a partir dela, pode-se obter uma estimativa do raio de influência como sendo:

$$r_i = \sqrt{\frac{2,25Tt}{S}} \quad (15)$$

T é a transmissividade, t é o tempo que pode ser estimado entre 0,5 a 1,0 dia; e S o coeficiente de armazenamento. Por exemplo, num aquífero com transmissividade de $100 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ e coeficiente de armazenamento de 0,001, o raio de influência pode ser estimado em 335 metros.

28.6.1 Perfuração de poços tubulares

Antes de perfurar um poço, é necessário verificar a possível existência de água. Antes de realizar qualquer estudo geofísico, vale a pena verificar informações hidrogeológicas já disponíveis para o local. O Serviço Geológico Brasileiro, através da CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais apresenta bastante informações sobre disponibilidade de água, aquíferos e formações geológicas (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1998).

28.6.2 Máquinas para perfuração

Máquinas para perfuração: (i) máquina rotativa: indicada para rochas sedimentares de dureza branda a média, trata-se de uma broca, através da qual passa um fluido de perfuração que retorna à superfície trazendo os fragmentos de rocha. O fluido também tem o objetivo de resfriar a broca aquecida pelo atrito com as rochas. Para evitar alto consumo de fluido de perfuração, a vazão que sai do poço é destinada à uma caixa perfurada no solo para retorno ao interior das hastes de perfuração, enviado por uma bomba. À medida que o furo é aprofundado, novas hastes são conectadas até atingir a profundidade desejada para o poço. As propostas de perfuração de poços são apresentadas normalmente com profundidade de 60 a 120 metros, (ii) máquina percussora: esta máquina deixa cair no interior do furo em construção um conjunto de ferramentas (percussor e trépano) em baixa frequência (vários segundos entre um impacto e outro). É indicada para perfurar rochas de baixa a média dureza. Além disso, é bastante indicada para aquíferos fissurais ou cársticos pois o impacto pode criar fendas ou mesmo unir fendas já existentes. A perfuração de um poço em aquífero fissurado com ocorrência de granito (alta dureza) pode levar meses. Enquanto não atingir camadas com água, é necessário injetar água para auxiliar na remoção dos fragmentos que são alojados no interior do percussor. O formato do trépano é tal que ao impactar-se com a rocha, produz um movimento rotativo, e (iii) máquina roto-pneumática: esta máquina também possui uma broca que é impactada contra rocha, porém em curso muito pequeno (poucos milímetros), em alta frequência e movimento rotativo. Ao contrário das outras máquinas, o fluido injetado nas hastes é ar comprimido bombeado por um compressor. Assim como nas outras perfuratrizes,

as brocas possuem nódulos de tungstênio (DRISCOLL, 1986) bastante resistente ao desgaste (Figura 8). Este método é o mais rápido, capaz de perfurar mesmo em rocha granítica um poço de 100 metros de profundidade em menos de 24 horas.

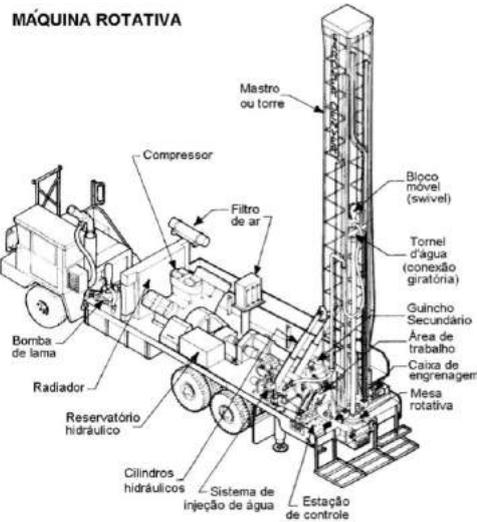


Figura 6. Esquema de máquina rotativa (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1998).

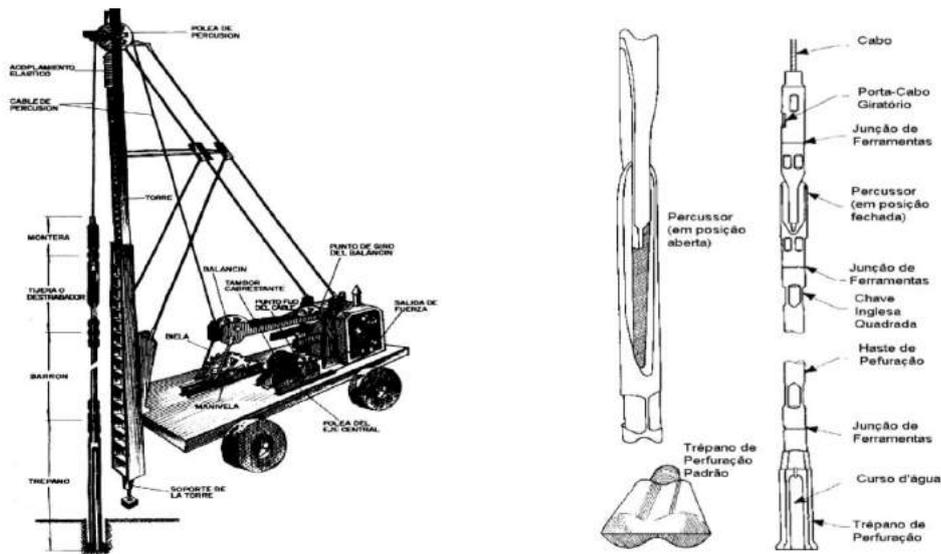


Figura 7. Esquema da máquina percussora (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1998).



Figura 8. Nódulos endurecidos na extremidade de brocas.

Após a perfuração do poço, é preciso bombear água (fase de desenvolvimento) para limpeza do poço e conduzir testes de vazão e bombeamento. A água retirada do poço bem construído e desenvolvido corretamente não pode ter mais que 10 mg L^{-1} de sólidos sedimentáveis (LOPES, 2015).

28.6.3 Escolha de bomba, tubulação e cabos para poços

Para escolher uma bomba, é preciso definir a vazão, o nível dinâmico, a submergência (distância mínima abaixo do nível dinâmico), a energia elétrica disponível (monofásica ou trifásica) e os detalhes das instalações hidráulicas.

A Figura 9 ilustra a instalação típica de um poço sugerida pelo fabricante Franklin Electric (Schneider). Pode-se observar a existência de eletrodos de nível que impedem que a bomba seja ligada se o poço estiver seco e, até mesmo, possa ligar se o poço estiver com bons níveis de água. Cabe destacar que, dependendo da qualidade da água, esses eletrodos se oxidam facilmente e podem falhar.

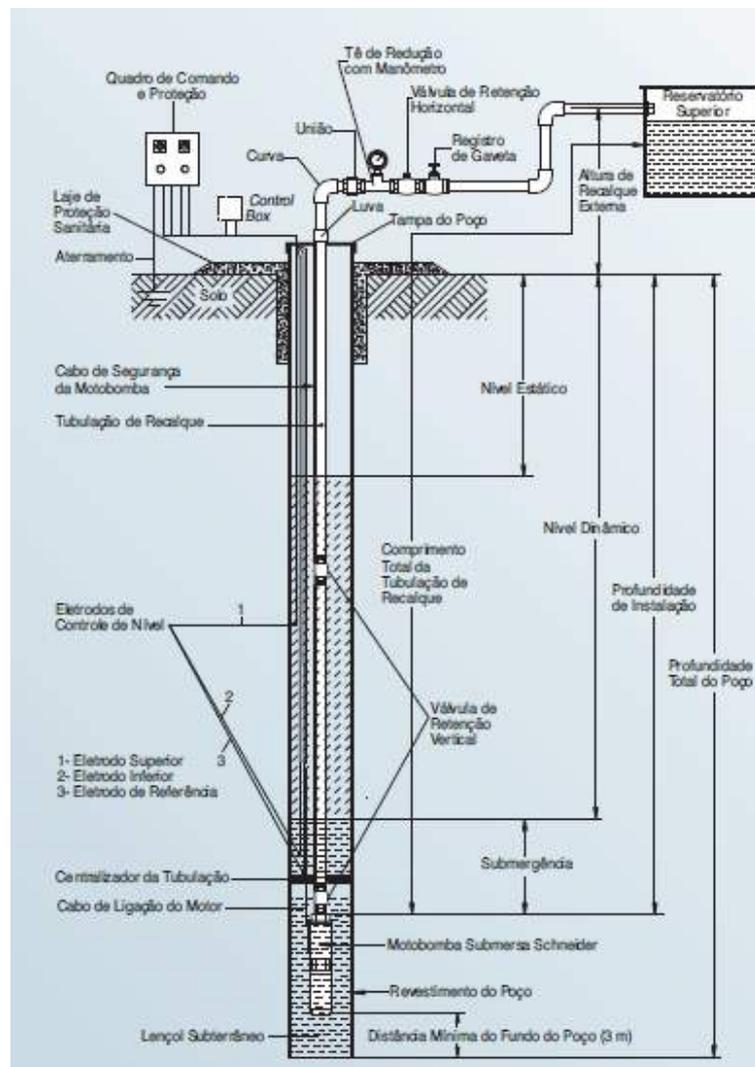


Figura 9. Desenho típico de um poço (Schneider).

A Tabela 4 auxilia na escolha do tubo edutor. Para evitar grandes velocidades, deve ser escolhido diâmetro cujo valor de perda de carga se situe à direita da linha espessa realçada em negrito. O primeiro passo é definir o tubo edutor (tubo que conduz a água da bomba para fora do poço). Os tubos podem ser metálicos (FoFo - ferro fundido) ou de PVC, preferencialmente geomecânico. De posse da vazão, escolhe-se o diâmetro. Para $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

p.e., pode-se escolher o tubo de 2" cuja perda de carga seria de 4,0 ou 4,4 m por 100 m, respectivamente para tubos de PVC ou metálicos.

Tabela 4. Perda de carga por 100 metros de tubo pvc ou metálico (Franklin Electric).

Perda de carga ao longo de 100 metros de tubulação nova de PVC ou tubos de ferro fundido ou galvanizado (Valores em m por 100 m)																			
Vazão m ³ /h	PVC 3/4"	F ^º F ^º	PVC 1"	F ^º F ^º	PVC 1 1/4"	F ^º F ^º	PVC 1 1/2"	F ^º F ^º	PVC 2"	F ^º F ^º	PVC 2 1/2"	F ^º F ^º	PVC 3"	F ^º F ^º	PVC 4"	F ^º F ^º	PVC 5"	F ^º F ^º	Vazão m ³ /h
0,5	1,5	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1											0,5
1,0	4,9	4,8	1,6	1,6	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1									1,0
1,5	10,0	10,1	3,3	3,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,1									1,5
2,0	16,5	17,2	5,4	5,8	1,4	1,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1							2,0
2,5	24,4	26,1	8,0	8,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1							2,5
3,0	33,6	36,5	11,0	12,3	2,9	3,2	1,6	1,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1					3,0
3,5	44,0	48,6	14,4	16,4	3,8	4,2	2,1	2,0	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1					3,5
4,0	55,6	62,2	18,2	21,0	4,8	5,4	2,7	2,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1					4,0
4,5	68,3	77,3	22,3	26,1	6,0	6,7	3,3	3,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,1	0,1					4,5
5,0	82,2	94,0	26,8	31,7	7,2	8,1	4,0	3,9	1,2	1,2	0,3	0,3	0,1	0,2					5,0
5,5	97,1		31,7	37,8	8,5	9,7	4,7	4,6	1,4	1,4	0,4	0,4	0,2	0,2			0,1		5,5
6,0			36,9	44,4	9,9	11,4	5,4	5,4	1,6	1,7	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1			6,0
6,5			42,5	51,5	11,3	13,2	6,3	6,3	1,9	2,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1			6,5
7,0			48,4	59,1	12,9	15,2	7,1	7,2	2,1	2,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1			7,0
7,5			54,6	67,1	14,6	17,2	8,0	8,2	2,4	2,6	0,7	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1			7,5
8,0			61,1	75,6	16,3	19,4	9,0	9,2	2,7	2,9	0,8	0,8	0,3	0,4	0,1	0,1			8,0
8,5			67,9	84,6	18,1	21,7	10,0	10,3	3,0	3,2	0,8	0,9	0,4	0,4	0,1	0,1			8,5
9,0			75,1	94,0	20,0	24,1	11,1	11,5	3,3	3,6	0,9	1,0	0,4	0,5	0,1	0,1			9,0
9,5			82,5		22,0	26,7	12,2	12,7	3,6	4,0	1,0	1,1	0,4	0,5	0,1	0,1			9,5
10			90,3		24,1	29,3	13,3	13,9	4,0	4,4	1,1	1,2	0,5	0,5	0,1	0,2		0,1	10
12					33,1	41,1	18,3	19,5	5,4	6,1	1,5	1,7	0,7	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1	12
14					43,4	54,6	24,0	25,9	7,1	8,1	2,0	2,3	0,9	1,0	0,2	0,3	0,1	0,1	14
16					54,8	69,9	30,3	33,2	9,0	10,4	2,5	2,9	1,1	1,3	0,3	0,4	0,1	0,1	16
18					67,4	87,0	37,2	41,3	11,1	12,9	3,1	3,6	1,4	1,6	0,4	0,4	0,1	0,2	18
20						81,0	44,8	50,2	13,3	15,7	3,7	4,4	1,6	2,0	0,5	0,5	0,2	0,2	20
25							66,2	75,8	19,7	23,7	5,5	6,6	2,4	3,0	0,7	0,8	0,2	0,3	25
30							91,1		27,1	33,3	7,6	9,3	3,3	4,2	0,9	1,2	0,3	0,4	30
35									35,5	44,3	10,0	12,4	4,4	5,6	1,2	1,5	0,4	0,6	35
40									44,8	56,7	12,6	15,8	5,5	7,1	1,5	2,0	0,5	0,7	40
45									55,1	70,4	15,5	19,7	6,8	8,9	1,9	2,4	0,7	0,9	45
50									66,2	85,6	18,6	23,9	8,1	10,8	2,3	3,0	0,8	1,1	50
55									78,2		22,0	28,5	9,6	12,9	2,7	3,5	0,9	1,3	55
60									91,1		25,6	33,5	11,2	15,1	3,1	4,2	1,1	1,5	60

Observações: (i) Cálculos baseados na equação de Flamant para tubos de PVC e na equação de Hazen-Williams para tubos de ferro fundido ou galvanizado. Os valores apresentados são resultantes de cálculos baseados nas médias dos diâmetros internos usualmente comercializados. (ii) Em se tratando de tubos galvanizados ou ferro fundido, deve-se acrescentar 3% aos valores acima para cada ano de uso da tubulação.

A determinação da perda de carga é importante pois seu valor será utilizado para calcular a pressão que a bomba deverá fornecer. Além da perda de carga obtida da Tabela acima, é preciso calcular a perda de carga a ser causada pela presença de peças hidráulicas como válvulas, registros etc. Essas perdas podem ser obtidas a partir do método de comprimento equivalente. Este método simula um comprimento extra de tubo com base na presença das peças hidráulicas. Para isto, pode-se utilizar a Tabela 5.

Por exemplo, se no tubo edutor de PVC existem 2 curvas de 90 graus, um registro de gaveta, tê de passagem direta para manômetro e uma válvula de retenção vertical, todos de 2 polegadas, a perda causada por essas peças seria como um comprimento extra de tubo equivalente a (2 curvas de 90 graus = 2 x 1,3 = 2,6 m), (1 registro de gaveta = 0,8 m), (1 saída para manômetro = 2,3 m) e (1 válvula de retenção vertical = 6,4 m) totalizando 12,1 metros extra de tubo. Portanto, se o tubo edutor tem, por exemplo, 60 metros, faríamos os cálculos de perda de carga como se ele tivesse 72,1 metros.

Assim, para o exemplo de 10 m³ h⁻¹, o tubo seria de 2 polegadas e consultando a Tabela acima, tem-se perda de carga de 4,0 m para cada 100 metros de tubo. Embora seja de 60 metros de comprimento, consideraríamos de 72,1 m. Assim, a perda de carga total seria de (72,1/100).4,0 = 2,88 m.

28.7 Escolha da bomba

Considerando o exemplo acima, deve-se escolher uma bomba de 10 m³ h⁻¹ e a pressão pode ser estimada como: nível dinâmico do poço + perda de carga do tubo edutor. Por

exemplo, se o nível dinâmico fosse de 50 m, a pressão para colocar água na superfície (boca do poço) seria de 52,88 m.

Tabela 5. comprimento equivalente de tubos para representar conexões (Franklin Electric).

Conexão		Diâmetro nominal x Equivalência em metros de canalização									
		Material	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
		Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
		Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
		Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
		Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta		PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
		Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União		PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
		Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização		PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
		Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*)		PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
		Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto		PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
		Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto		Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto		Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
		Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal		Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical		Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	16,1

(i) Os valores acima estão de acordo com a NBR-5626/82 e Tabela de perda de carga da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR-92/80 e Tabela de perda de carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão. (ii) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo de maior para menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor. Ex.: 1 1/4" x 1" - 1 1/2" x 1 1/4".

Os fabricantes de bomba informam os dados operacionais através de tabelas ou gráficos. Por exemplo, a Tabela 6 ilustra as características operacionais de alguns modelos da bomba SUB45, fabricadas pela Schneider (Franklin Electric). Neste caso, para 10 m³ h⁻¹ e altura manométrica total de 52,88 m, percebe-se que o modelo de 3 cv (SUB45-30S4E11) forneceria 10 m³ h⁻¹ com pressão de 55 m. Percebe-se na Tabela 6 que existe o mesmo modelo para energia monofásica e para energia trifásica.

O diâmetro de conexão de saída da bomba é de 2 pol (diâmetro de recalque), o rotor tem 79 mm de diâmetro e são 11 rotores (estágios) em série.

Tabela 6. Dados operacionais de alguns modelos de bomba Schneider. Potência (P, cv), Estágios (E), Monofásico (M), Trifásico (T), Diâmetro da tubulação de recalque (Ø, pol), Pressão máxima sem vazão (Px, mca), e rotor (Ør, mm) (Franklin Electric).

Características hidráulicas															
Altura manométrica total (mca)															
Vazão (m ³ h ⁻¹)															
M	P	E	M	T	Ø	Px	Ør	15	20	25	30	35	40	45	
A	1,5	6	X	X	2	58	79	13,3	12,3	11,3	10,1	8,9	7,6	6,1	
B	2	8	X	X	2	77	79	*	13,3	12,5	11,6	10,7	9,8	8,8	
C	3	11	X	X	2	107	79	*	*	*	12,9	12,4	11,8	11,2	
D	5	18	X	X	2	176	79	*	*	*	*	*	13,2	12,9	
E	7,5	26		X	2	247	79	*	*	*	*	*	*	*	
M	P	E	M	T	Ø	Px	Ør	50	55	60	70	80	90	100	
A	1,5	6	X	X	2	58	79	4,3	1,9						
B	2	8	X	X	2	77	79	7,8	6,6	5,4	2,4				
C	3	11	X	X	2	107	79	10,6	10,0	9,3	7,9	6,2	4,4	2,0	
D	5	18	X	X	2	176	79	12,6	12,3	12,0	11,3	10,6	9,9	9,1	
E	7,5	26		X	2	247	79		13,3	13,0	12,6	12,1	11,7	11,2	
M	P	E	M	T	Ø	Px	Ør	120	140	150	170	180	200	220	240
A	1,5	6	X	X	2	58	79								
B	2	8	X	X	2	77	79								
C	3	11	X	X	2	107	79								
D	5	18	X	X	2	176	79	7,4	5,4	4,2	1,0				
E	7,5	26		X	2	247	79	10,2	9,1	8,5	7,3	6,6	5,2	3,5	1,4

Modelo (M): (A) SUB45-15S4E6. (B) SUB45-20S4E8. (C) SUB45-30S4E11. (D) SUB45-50S4E18. (E) SUB45-75S4E26.

28.7.1 Cabos elétricos

A escolha da bitola (seção transversal) dos cabos elétricos deve considerar o comprimento do cabo, o número de fases (mono ou trifásica), a voltagem (230 ou 110) e a potência da bomba (cv).

Tabela 7. Comprimento máximo de fios condutores de energia mono ou bifásica (Franklin Electric).

Motor			Distância, em metros, para cada diâmetro do fio de cobre (60°C)												
mm ²			1,5	2,5	4	6	10	16	25	25	35	50	70	70	95
AWG			14	12	10	8	6	4	3	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0
Tensão (V)	cv	kW	Queda de tensão máxima admitida: 3% operando na máxima corrente especificada na placa de identificação do motor												
115	1/2	0,37	18	29	46	71	113	176	218	267	326	395	481	574	689
	1/2	0,37	73	119	187	295	459	710	880	1075	1311	1595			
	3/4	0,55	55	88	139	220	342	529	655	799	975	1183	1439		
	1	0,75	46	73	115	181	281	435	541	660	806	980	1192		
	1,5	1,1	35	56	88	141	220	342	424	521	640	782	958		
230	2	1,5	28	46	71	113	178	280	349	431	536	662	819		
	3	2,2	22	35	55	86	137	218	272	338	424	529	660		
	5	3,7			33	51	82	130	163	203	254	318	397	490	
	7,5	5,5				37	56	89	112	137	170	208	258	314	
	10	7,5					46	71	89	110	137	170	212	262	322
	15	11					31	49	62	79	97	121	150	187	230

A Tabela 7 ilustra parâmetros para escolha de cabos monofásicos. Por exemplo, se o cabo elétrico tiver um comprimento de 70 metros (painel elétrico até a bomba no poço), para o modelo de 3 cv, considerando 230 volts, o cabo a ser escolhido seria o de 6 mm² ou AWG 8 (*american wiring gage*). Este cabo poderia ter comprimento máximo de 86 metros, superior

aos 70 metros necessários. Na verdade, o cabo conteria em seu interior dois fios de 6 mm² de seção transversal cada.

28.7.2 Cabos motores trifásicos

As Tabelas 8 e 9 apresentam a recomendação de cabos para energia trifásica. Neste caso, se no exemplo acima a energia fosse trifásica 230V, o cabo a ser escolhido seria de 2,5 mm² que poderia ter comprimento máximo de 71 metros. O cabo elétrico teria, neste caso, três fios em seu interior, cada um com 2,5 mm² de seção transversal.

Tabela 8. Comprimento máximo de fios condutores (metros) energia trifásica.

Motor		Bitola do Fio de Cobre – Isolamento 60°C												
mm ²	AWG	1,5	2,5	4	6	10	16	25	25	35	50	70	70	95
		14	12	10	8	6	4	3	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0
cv	kW	Queda de tensão máxima admitida: 3% operando na máxima corrente especificada na placa de identificação do motor												
1/2	0,37	170	272	430	677	1054	1630							
3/4	0,55	122	197	311	472	766	1187	1474	1803					
1	0,75	103	166	262	413	644	998	1240	1516					
1,5	1,1	77	122	194	305	477	740	920	1126	1377	1677			
2	1,5	59	93	148	234	368	572	712	872	1072	1311	1606		
3	2,2	44	71	113	181	281	439	545	670	819	1000	1223	1466	1770
5	3,7	26	42	68	108	168	262	328	400	492	602	737	887	1073
7,5	5,5		29	47	77	119	187	232	285	351	428	525	629	761
10	7,5			35	56	89	139	174	214	263	322	395	477	578
15	11				38	61	95	119	146	179	220	269	326	393
20	15					46	73	91	112	139	170	208	253	307
25	18,5						59	73	91	112	137	168	205	249
30	22						47	61	75	93	113	139	170	206

Tensão: 230 V. 60 Hz (Trifásico). 3 Fios. (Franklin Electric).

Tabela 9. Comprimento máximo de fios condutores (metros) energia trifásica.

Motor		Bitola do Fio de Cobre MCM				
AWG		250	300	350	400	500
cv	kW	Queda de tensão máxima admitida: 3% operando na máxima corrente especificada na placa de identificação do motor				
5	3,7	1216	1382	1547	1686	
7,5	5,5	862	977	1092	1189	1373
10	7,5	656	750	841	918	1068
15	11	446	508	569	622	721
20	15	349	398	448	490	571
25	18,5	281	322	362	395	461
30	22	234	269	302	329	386

Tensão: 230 V. 60 Hz (Trifásico). 3 Fios. (Franklin Electric).

28.7.3 Testes de bombeamento

O objetivo dos testes de bombeamento é determinar parâmetros como condutividade hidráulica, transmissividade (T) e produtividade específica ou storatividade (S), que permitam simular o funcionamento do poço, bem como identificar seus níveis estático e dinâmico, além da vazão específica (Q_{esp} = vazão por unidade de rebaixamento do nível de água no poço). O parâmetro S também é conhecido como coeficiente de armazenamento.

Os testes podem ser divididos em regime de equilíbrio ou transiente. No primeiro caso, o nível de água no poço já se encontra estabilizado no nível dinâmico e isto pode ser obtido com 24 horas de bombeamento. No regime transiente, o nível de água em um piezômetro localizado próximo ao poço é anotado com o passar do tempo. A medição do nível de água

em regime transiente, a partir de níveis obtidos no próprio poço sendo explorado, não é recomendada pois existe perda de pressão da água ao fluir do aquífero para o interior do poço, causada pelas pequenas ranhuras do filtro e granulometria do pré-filtro quando tratar-se de poços em aquíferos sedimentares. São muitos os métodos utilizados, cada um com sua especificidade, adequado para determinadas condições de contorno. Os principais são: [Equilíbrio]: (i) método de Thiem (aquífero confinado); (ii) método para poço em aquífero livre, e [Transiente]: (i) método de Theis - rebaixamento; (ii) Método de Jacob; (iii) método de Theis - recuperação.

28.8 Método de Thiem (1906)

Este método utiliza a equação que descreve o funcionamento do poço em aquífero confinado:

$$Q = 2\pi T \frac{(s_1 - s_2)}{LN\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (16)$$

Os valores de r_1 e r_2 referem-se às distâncias dos piezômetros 1 e 2 perfurados próximos ao poço. Os valores de s_1 e s_2 referem-se ao rebaixamento ocorrido nos piezômetros 1 e 2, após 24 horas de teste. Q é a vazão de teste e T a transmissividade ou seja: o produto da condutividade hidráulica pela espessura do aquífero (b).

28.9 Método para poço em aquífero livre

Também conhecido como método de Dupuit-Forcheimer, este método utiliza a equação que descreve o funcionamento do poço em aquífero livre

$$Q = \pi K \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{LN\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (17)$$

A equação acima permite determinar a condutividade hidráulica do aquífero. De posse deste valor, pode-se simular (determinar a vazão) e o funcionamento do poço para outros valores de r ou h .

28.10 Métodos para regime transiente

Diferentemente dos métodos para regime de equilíbrio, em regime transiente é possível determinar vários parâmetros como T e S . Existem muitos métodos de teste de bombeamento, cada um com determinada particularidade.

Para uma situação generalizada de aquífero confinado, horizontal, a equação de Theis (equação 18) pode ser resolvida por ajuste em planilha de Excel, com auxílio da ferramenta Solver, dispensando superposições gráficas que podem levar a erros subjetivos ou mesmo simplificações desnecessárias como no método de Jacob. Obviamente, o emprego desta ferramenta requer conhecimento dos princípios envolvidos em cálculos numéricos bem como restrições numéricas necessárias para evitar que, em alguma interação do processo, possam surgir erros numéricos como logaritmo de um número negativo. Exemplos podem ser encontrados em Yeh (1987).

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (18 a)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (18 b)$$

$$W(u) = -0,5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \quad (18 c)$$

28.10.1 Qualidade e contaminação de água subterrânea

A água subterrânea pode apresentar elementos químicos que interagem entre si ou com outros elementos do meio ambiente, alterando o sabor da água, afetando bombas, tubulações, plantas, micro-organismos, entre outros. O texto a seguir faz uma descrição dos processos e suas possíveis consequências.

Tabela 10. Ordem de ocorrência de íons em rochas.

Rocha predominante	Ordem de ocorrência
Granito	(Na+K)>(Ca+Mg), HCO ₃ >SO ₄ >Cl
Carbonatos	Ca>Mg>(Na+K)
Basalto	Na>Ca>Mg>K e HCO ₃ >SO ₄ >Cl
Depósitos marinhos	Na>Mg>Ca>K e Cl>SO ₄ >HCO ₃

Os íons dominantes em águas naturais de algumas rochas podem ser resumidos conforme Tabela 10.

28.10.2 Salinidade e desenvolvimento de plantas

O controle de sais no perfil do solo é importante, pois os efeitos dos mesmos são indesejáveis. Tipicamente, podem alcançar níveis tóxicos para as plantas ou alterar a estrutura do solo. Podem também prejudicar economicamente o rendimento das plantas cultivadas.

Os sais originam-se durante o processo de formação do solo ou então são trazidos por movimentos de água subterrânea, água da irrigação, ou mesmo por adubação excessiva ou muito localizada (fertirrigação).

A humanidade já enfrentou o fim de algumas civilizações causado pela presença de sais no solo. A Mesopotâmia, região entre os rios Eufrates e Tigre, atualmente Iraque, era um vale muito fértil que entre 6000 e 1200 a.C. apresentava uma agricultura muito intensiva, com canais de irrigação que aos poucos traziam sais dissolvidos na água e, por serem solos planos e rasos, foram salinizados. Cabe destacar que a água desses rios não é salina, mas o excesso de irrigação contribuiu para formação de lençol freático. Como os solos são rasos, o lençol ficava a poucos metros da superfície e as partículas do solo, em seu arranjo, formavam tuneis verticais pelos quais a água é capaz de subir por capilaridade chegando até a superfície. Os sais dissolvidos na água ascendente permanecem na superfície do solo porque a partir daí apenas a água continua seu movimento para atmosfera, por evaporação. Os sais não evaporaram e salinizaram a superfície do solo destruindo as plantas. Este mecanismo pode ser visualizado em projetos atuais como, por exemplo, no Projeto Jaíba, em Minas Gerais, considerado o maior projeto de irrigação da América Latina.

Como os sais podem dissociar-se em cátions e ânions, uma solução salina tem habilidade de conduzir corrente elétrica, podendo os sais serem estimados a partir da corrente elétrica. Dessa forma, mede-se a condutividade elétrica (CE) da água ou da solução do solo.

Inúmeras amostras foram realizadas pelo Laboratório de Salinidade da Universidade da Califórnia-Riverside. Em geral, o teor de sais de uma solução pode ser estimado da seguinte forma:

$$\text{meq L}^{-1} = (10 \text{ a } 12) \times \text{CE (mmho cm}^{-1}) \quad (19)$$

$$\text{mg L}^{-1} = \text{ppm} = 640 \times \text{CE (mmho cm}^{-1}) \quad (20)$$

A comunidade científica internacional determinou como unidade padrão para CE o dS m^{-1} (deciSiemens por metro) que equivale ao mmho cm^{-1} . A condutividade elétrica da água do rio São Francisco é em torno de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$ enquanto na água do mar é de cerca de 50 dS m^{-1} .

28.10.3 Precipitados químicos - reações e solubilidades

28.10.3.1 Cálcio e magnésio

Com o bombeamento do poço, a redução da pressão da água quando é transferida do aquífero para um reservatório pode promover reações químicas tais como listadas a seguir. A concentração entre colchete indica a solubilidade do sal em água.



Figura 10. Tubo PVC (1 ½ pol) com um ano de uso parcialmente entupido por cristais de carbonato de cálcio.

28.10.3.2 Índice de Saturação ou Langelyer

Para determinar se haverá formação de precipitados de carbonatos, pode-se calcular o índice de saturação (LANGELYER, 1939).

$$\text{IS} = \text{pHm} - \text{pHc} \quad (21)$$

em que pHm se refere ao pH medido da água. Se o valor de IS for positivo, haverá formação de precipitados de carbonatos. Se for negativo, a água será agressiva (corrosiva). pHc se refere ao pH calculado (pH da água se estivesse em equilíbrio com CaCO_3):

$$\text{pHc} = (\text{pk}_2 - \text{pKs}) + \text{p}[\text{Ca} + \text{Mg}] + \text{p}[\text{HCO}_3 + \text{CO}_3] \quad (22)$$

em que pk_2 se refere ao log da segunda constante de dissociação para H_2CO_3 e pKs ao log da constante de solubilidade do CaCO_3 . A diferença entre pk_2 e pKs pode ser estimada em 2,10 (água em 20°C), 1,99 (25°C) ou 1,40 (60°C). As seguintes equações podem ser usadas para estimar os demais termos da equação 21.

$$\text{p}[\text{Ca} + \text{Mg}] = 3,3 - \log [\text{Ca} + \text{Mg}] \quad (23)$$

$$\text{p}[\text{HCO}_3 + \text{CO}_3] = 3,0 - \log [\text{HCO}_3 + \text{CO}_3] \quad (24)$$

O valor de IS para água subterrânea coletadas no município de Janaúba é de 0,41 enquanto no município de Jaíba é 0,30 (RIBEIRO *et al.*, 2009).

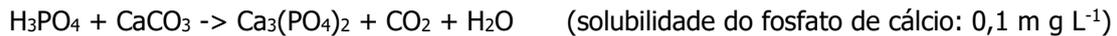
Para evitar formação de precipitados químicos, é preciso tornar IS negativo com adição de ácido. Por exemplo, o ácido clorídrico pode ser entendido através da seguinte reação:



O ácido muriático ou ácido clorídrico (HCl) é muito corrosivo aos metais.



O ácido nítrico também é muito corrosivo.



Deve-se evitar o uso de ácido fosfórico, principalmente em presença de ferro.

28.10.3.3 Ferro e manganês

Águas tropicais com $\text{pH} < 5$ normalmente apresentam ferro e manganês. A variação da pressão causada pelo aumento da velocidade da água no bombeamento de poços pode precipitar Fe e Mn. A maioria dos poços perfurados no Brasil apresentam valores significativos de Fe e Mn, principalmente nas amostras de água obtidas do bombeamento logo após a perfuração do poço. Com o tempo, as concentrações diminuem.

28.10.3.4 Ferro



Se adicionar oxigênio (aeração)



Extra oxidação



Figura 11. Entupimento por precipitados de ferro.

28.10.3.5 Manganês



solubilidade do $\text{Mn(HCO}_3)_2 = 770 \text{ mg L}^{-1}$ Solubilidade do $\text{Mn(OH)}_2 = 3,4 \text{ mg L}^{-1}$

28.10.3.6 Corrosão

Os metais existem na natureza, porém na forma de minério e depois de trabalhados e reintroduzidos ao ambiente tendem a retornar a forma de minério; este processo é caracterizado por fenômenos de corrosão e incrustação.

Fatores que contribuem para corrosão: (i) altas velocidades da água, (ii) altas temperaturas (corrosão dobra a cada 10 graus Celsius), (iii) gases dissolvidos (O_2 , CO_2 , H_2S , CH_4), (iv) sólidos dissolvidos ($> 1000 \text{ mg L}^{-1}$) - facilitam condução de corrente elétrica, e (v) diferença de potencial elétrico causado por áreas afetadas por calor ou áreas soldadas, cortadas ou rosqueadas.

Existe também a corrosão bi-metálica quando dois metais diferentes são imersos em solução eletrolítica.

28.10.3.7 Incrustação

A incrustação aparece em tubos metálicos na forma de depósitos de cor castanho-alaranjada. Esses depósitos podem causar: (i) aumento de perda de carga, (ii) formação de bolsas de aeração que facilitam corrosão, (iii) formação de bactérias anaeróbicas embaixo das incrustações, facilitando corrosão, e (iv) a dissolução dos tubérculos de incrustação forma água vermelha ou ferruginosa que alteram sabor, formam manchas em tecidos, cerâmicas e outras superfícies.

Os tubérculos formados são de óxidos e hidróxidos de ferro como $Fe(OH)_2$, Fe_2O_3 , $Fe(OH)_3$ ou $FeO-OH$. No interior dos tubérculos, por condições anaeróbicas, forma-se Fe^{+2} , FeO , ou Fe_2O_3 (sólido e insolúvel).

O ferro pode originar-se pela presença de ferro solúvel em água ou mesmo de ferro proveniente da corrosão das tubulações. Para calcular o risco de corrosão ou incrustação, pode-se calcular o índice de estabilidade (IE) proposto por Ryznar (1944).

28.10.3.8 Índice de estabilidade de Ryznar

$$IE = 2pH_c - pH_m \quad (25)$$

O resultado pode ser interpretado da seguinte forma: (i) $IE < 5$: incrustação acentuada, (ii) IE de 5 a 6 incrustação nas partes aquecidas, (iii) IE de 6 a 6,5 sem problemas, (iv) IE de 6,5 a 7,0: corrosão leve, (v) IE de 7,0 a 8,0: corrosão nas partes aquecidas, e (vi) $IE > 8,0$: corrosão acentuada.

Cabe salientar que cloretos podem corroer aço inox (solução: usar anodos de sacrifício).

28.10.3.9 Índice Larson-Skold

Este índice foi proposto para auxiliar a indústria de equipamentos de irrigação nos Estados Unidos.

$$LSI = \frac{[Cl + SO_4]}{[HCO_3 + CO_3]} \quad (26)$$

As concentrações são expressas em me L^{-1} e os resultados podem ser interpretados da seguinte forma: [$LSI < 0,8$] indica água sem potencial de corrosão significativo; [LSI entre 0,8 e 1,2] indica a possibilidade de leve poder corrosivo, enquanto [$LSI > 1,2$] indica água com alto potencial de corrosão.

Segundo a norma brasileira NBR 12212 (ABNT, 2017), corrosão ocorre em águas subterrâneas com $\text{pH} < 5$, $\text{OD} > 2 \text{ mg L}^{-1}$, H_2S , $\text{TDS} > 1000 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{CO}_2 > 50 \text{ mg L}^{-1}$, ou cloretos $> 300 \text{ mg L}^{-1}$. Incrustação ocorre com $\text{pH} > 8$, dureza $> 300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, $\text{Fe} > 2 \text{ mg L}^{-1}$, Mn a $\text{pH} 8 > 1 \text{ mg L}^{-1}$.

28.10.3.10 Velocidade da água em tubos

Para evitar corrosão, a velocidade da água deve ser inferior a $1,2 \text{ m s}^{-1}$ em tubos de aço carbono, $0,8 \text{ m s}^{-1}$ em tubos de cobre e $3,0 \text{ m s}^{-1}$ em tubos de inox.

28.10.3.11 Zincagem

O processo de zincagem busca proteger o metal da corrosão, depositando uma película de hidróxido de zinco $[\text{Zn}(\text{OH})_2]$ ou mesmo de óxido de zinco $[\text{ZnO} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, com espessura de aproximadamente $0,1 \text{ mm}$. Em tubos metálicos zincados, o pH da água inferior a 6 ou superior a 10 provoca corrosão.

28.10.3.12 Bactérias ferruginosas

Ocorrem em águas quando as concentrações de Fe e/ou Mn superam $0,1 \text{ mg/l}$ em conjunto com matéria orgânica dissolvida, bicarbonatos ou CO_2 . É comum a ocorrência da bactéria *Gallionella ferrugínea* ou as bactérias do gênero *Crenotrix*, *Leptothrix*, *Siderocapsa* e *Sideromonas*.

Suas formas de sobrevivência podem ser enzimáticas (a bactéria obtém energia oxidando íons de ferro que precipitam como hidróxido ferro hidratado ou mucilagem) ou não enzimática (aumento de pH da água liberando ferro quelatizado).

A eliminação das bactérias pode ser com tratamento com cloro (10 mg L^{-1}). Recomenda-se adicionar água ao poço para aumentar a pressão e fazer com que o cloro penetre no aquífero. O uso de ácidos também é benéfico porque a redução do pH abaixo de 2 dificulta a sobrevivência de bactérias. Água quente (> 50 graus) também é benéfica.

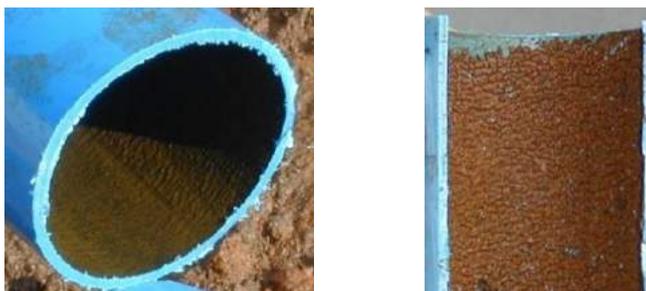


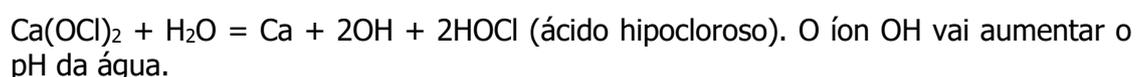
Figura 12. Depósito de lodo de bactérias ferruginosas.

O cloro com objetivo de eliminar bactérias ou mesmo algas pode ser aplicado na forma de:

- (i) gás cloro (gás líquido mais pesado que ar, o que exige excelente ventilação do local),
- (ii) hipoclorito de sódio (NaOCl) (sofre fotodegradação em 60 a 90 dias):



- (iii) hipoclorito de potássio KOCl (sofre fotodegradação em 60 a 90 dias, mas não contém sódio), e (iv) hipoclorito de cálcio - $\text{Ca}(\text{OCl})_2$:



Observações: (i) A concentração de H_2S que reage com cloro é de 1:1. Assim, cada ppm de gás sulfídrico exige 1 ppm de cloro livre adicional, (ii) A concentração de Fe^{+2} deve ser eliminada com a oxidação (aeração) pois cada ppm de Fe^{+2} exige 0,6 ppm de cloro, (iii) Deve-se evitar o uso de cloro com fertilizantes que contém amoníaco ou amidas pois podem ser formadas as cloroaminas (mau cheiro), (iv) A oxidação de ferro ($>0,4 \text{ mg L}^{-1}$) com cloro pode formar precipitados que entopem gotejadores requerendo, portanto, a construção de decantadores, e (v) Para controle de algas bastam 1 a 2 ppm de cloro por mais de 30 minutos.

28.10.3.13 Aeração e decantação de ferro e manganês

A aeração precipita Fe e Mn que podem ser decantados antes da água ser utilizada para outras finalidades.



Figura 13. Escada de aeração e depósito decantador (Fazenda Santa Elisa II – Pirapora, MG).

28.11 Considerações finais

O uso de água subterrânea para irrigação tende a aumentar.

Compreender sua disponibilidade, a forma correta de exploração e sua natureza química é muito importante para garantir o sucesso da irrigação. Disciplinas que contemplam os conhecimentos necessários para exploração de água subterrânea, tal como hidrogeologia devem ser incluídas nas grades curriculares de cursos de engenharia agrícola e agronomia.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2020** / Agência Nacional de Águas. 118p. Disponível em: http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo_sophia=87742. Acesso em: 4 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea - Procedimento. **Norma NBR 12212**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Ministério de Minas e Energia. **Noções básicas sobre poços tubulares**. Cartilha Informativa. Ações Emergenciais de combate aos efeitos das secas. 22p., CPRM, 1988.

DINIZ, J.A.O.; DE PAULA, T.L.F.; MONTEIRO, A.B.; FEITOTOSA, F.A.C.; CARDOSO, A.C. Taxonomia hidrogeológica – unidades básicas de referência. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **Anais**, 2014.

DRISCOLL, F.G. **Groundwater and Wells**. 2. Ed. Minnesota. 1089p., 1986.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, F.E.C; DEMETRIO, J.G.A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM/SGB. 3. Ed. Revisada e Ampliada. 812p., 2008.

FRANKLIN ELECTRIC. **Catálogo Geral Motobombas, motores e bombeadores submersos**. 60 p., 2012.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS. **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais**. IGAM. 113p., 2010.

JACOB, C.E. Radial flow in a leaky artesian aquifer. **Transactions American Geophysical Union**. v.27, n.2, p.198-208, 1946.

LANGELYER, W.F. The analytical control of anticorrosion water treatment. **Journal of American Water Works Association**, v.28, n.10, p.1500-1521, 1939.

LOPES, M.T. Construção de poços para água. **Manual Técnico**. Ed. Interciência. 384p., 2015.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Water: Our Thirsty World**. Ed. April, 2010.

REBOUÇAS, Importância da água subterrânea. In: **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM. 3. Ed. Cap. 1.2, p.13-29, 1988.

RIBEIRO, M.S.; FARIA, F.H.S.; LIMA, L.A.; SANTOS, S.R.; JESUS, M.R. Avaliação da qualidade e tratamento das águas subterrâneas para irrigação em Jaíba e Janaúba - Precipitação química e corrosão. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.3, p.336-347, 2009.

RYZNAR, T. A new index for determining the amount of calcium carbonate scale formed by a water. **Journal of American Water Works Association**. Denver, v.36, n.3, p.472-494, 1944.

THEIS, C.V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. **Transactions American Geophysical Union**. 16th annual meeting, part 2. 1935.

THIEM, G. **Hydrologische methode**. Leipzig, 56p., 1906.

YEH, H.D. Thei's solution by nonlinear least-squares and finite difference Newton's Method. **Groundwater**, v.25, n.6, p.710-715, 1987.

CAPÍTULO 29

29 A IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA DA GESTÃO DAS ÁGUAS E AMBIENTAL

Marília Carvalho de Melo, Felipe Bernardes Silva, Fabrício Lisboa Vieira Machado, Ana Sílvia Pereira Santos e Marcelo da Fonseca

Resumo

A agricultura irrigada possui importância estratégica para a garantia da segurança alimentar mundial, sendo responsável por 40% da produção mundial de alimentos, segundo World Bank (2020), e pelo consumo de cerca de 70% do uso da água (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2020). Neste contexto, o trabalho destaca o papel essencial da água para a produção agrícola sustentável, a partir do desenvolvimento de modelo conceitual "IrriÁguaSolo". O qual foi aplicado para avaliar a pressão da irrigação sobre o uso e ocupação do solo, sobre a quantidade e a qualidade das águas no Estado de Minas Gerais, suas correlações com a produtividade agrícola e o desenvolvimento econômico. Os resultados indicam a necessidade de o setor reduzir seu impacto sobre a disponibilidade hídrica, por meio da adoção de técnicas eficientes de irrigação, a prática do reúso, o assessoramento técnico para irrigação, dentre outros. Já a aplicação de técnicas conservacionistas de água e solo, juntamente como o Zoneamento Ambiental e Produtivo - ZAP, se mostram como alternativas para a compatibilização da agricultura irrigada e a preservação ambiental. Por fim, concluiu-se pela necessidade de uma gestão indissociável dos recursos hídricos e da irrigação, como forma de garantia de uma agricultura irrigada produtiva e sustentável.

29.1 Introdução

A segurança alimentar mundial, um dos grandes desafios da humanidade considerando o crescimento populacional, revela a importância da agricultura no mundo. Entretanto é crescente a preocupação com o desenvolvimento da agricultura de forma sustentável em todo o mundo (MUÑOZ *et al.*, 2019).

Entre os recursos naturais relacionados à atividade agrícola, destaca-se a importância da água. A agricultura responde por cerca de 70% do uso da água no mundo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2020; GRUÈRE *et al.*, 2020) e projeções futuras demonstram que a demanda de água para a produção de alimentos deve ainda crescer 50% em 2030 e 70% em 2050 (WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2016). Segundo o World Bank (2020) a agricultura irrigada é responsável por aproximadamente 20% da área cultivada no mundo, contribuindo com 40% da produção de alimentos, e tem sido utilizada para aumentar a produtividade agrícola e permitir a produção em regiões de escassez hídrica (KUKAL; IRMAK, 2020; ÇETIN; KARA, 2019; MASHNIK *et al.*, 2017).

Nesse sentido, a irrigação configura-se como o conjunto de técnicas que, por meio do deslocamento da água no tempo e no espaço, possibilita ajustar os recursos naturais às demandas agrícolas em determinada região e proporcionar água às culturas de maneira a atender suas exigências hídricas durante todo seu ciclo (FURQUIM; ABDALA, 2019; ERTHAL; BERTICILLI, 2018).

No Brasil, apenas 10% da área cultivada utiliza a irrigação como estratégia produtiva, representando 20% da safra nacional (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2017). A demanda hídrica para irrigação, que consome 66,1% da vazão outorgada no país é crescente,

com previsão de um novo incremento de 26% até 2030 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).

O Estado de Minas Gerais tem se destacado no setor agrícola. O Produto Interno Bruto (PIB) do Agronegócio de Minas Gerais, calculado pelo Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP, cresceu 5,12% em 2019, representando 36% do PIB estadual (BARROS *et al.*, 2020). Segundo a Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais (2020) o valor bruto de produção agropecuária (VBP) em Minas Gerais, para 2020, foi estimado em R\$ 76,9 bilhões, caracterizando uma alta de 13,7% em relação a 2019.

Segundo Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013), o Brasil tinha, em 2013, 17.878 equipamentos de irrigação do tipo pivô, que representavam juntos uma área irrigada de quase 1,2 milhões de hectares. Somente no estado de Minas Gerais operavam em 2013, 7.573 pivôs, abrangendo uma área irrigada de 366.428 hectares. Tanto em termos de quantidade de equipamentos como de área irrigada, os pivôs do estado de Minas Gerais representavam 31% do total no território nacional, no ano de 2013. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017) corrobora esse cenário, ao afirmar que Minas Gerais tem se figurado com um dos estados com maior incremento na prática de irrigação no país.

É neste contexto que se constata que a água é um insumo essencial para a produção agrícola e o desenvolvimento socioeconômico. Entretanto, conforme preconizam as políticas nacional e estadual de recursos hídricos, a água deve estar disponível para os seus usos múltiplos (antrópicos e ecossistêmicos) de forma a garantir o equilíbrio ambiental e a sua sustentabilidade para as gerações atual e futura.

Este estudo, tem por objetivo apresentar uma avaliação sobre a agricultura irrigada, com destaque para a prática de irrigação no estado de Minas Gerais.

29.2 O cenário de Minas Gerais

Em Minas Gerais, na última década (2009-2019) houve um incremento significativo de vazão outorgada para a finalidade de irrigação, com destaque para os dois últimos anos, conforme pode ser observado na Figura 1. O crescimento da demanda hídrica para a agricultura irrigada em Minas Gerais, a partir do aumento da área irrigada, contribui para aumento da predominância deste setor sobre os demais usos, com o passar dos anos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).

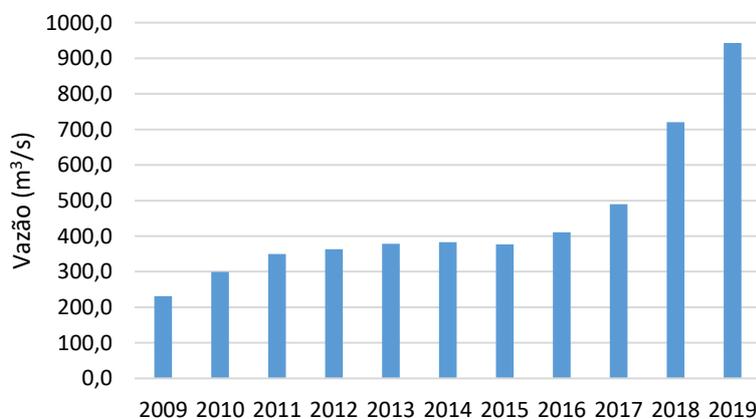


Figura 1. Evolução da Vazão Outorgada para irrigação no estado de Minas Gerais entre os anos de 2009 e 2019 (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2020).

Segundo Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017), Minas Gerais tem sido um dos estados do Brasil com maior incremento anual de áreas irrigadas e juntamente

com o estado de São Paulo representam 34% da área irrigada nacional, e 87,9 % da área irrigada na região Sudeste.

O crescimento da irrigação resulta no aumento da captação de água, representando um fator de pressão sobre a disponibilidade hídrica. Nesse contexto, a agricultura é fortemente dependente da água em quantidade suficiente. Por outro lado, em termos qualitativos, ao mesmo tempo que a prática de irrigação depende da água com qualidade adequada às culturas a serem irrigadas, pode também ser responsável por parcela de poluição do corpo hídrico, já que permite o carreamento de fertilizantes e agrotóxicos para as águas superficiais e subterrâneas.

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das autorizações de uso de água em Minas Gerais em 2020, sobrepostas aos trechos mineiros das principais bacias federais. É possível observar a grande quantidade de outorgas concedidas e vigentes nesse período, com maiores concentrações nas bacias hidrográficas do rio Paranaíba, do rio Grande e do rio São Francisco.

Outro fator de extrema relevância no contexto da agricultura irrigada é a relação entre a água e o solo. O uso inadequado do solo na agricultura irrigada, quer seja pela aplicação de lâminas de irrigação superiores a capacidade de infiltração, quer seja pela não adoção de práticas conservacionistas, representa uma fonte de degradação ambiental.

A aplicação de água acima da daquilo que o solo é capaz de infiltrar representa um problema ambiental na medida que o excedente não infiltrado escoar superficialmente, carreando partículas do solo. Ao escoar superficialmente a água pode causar erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água, bem como carrear fertilizantes e agroquímicos (fungicidas, inseticidas e herbicidas) para os corpos hídricos.

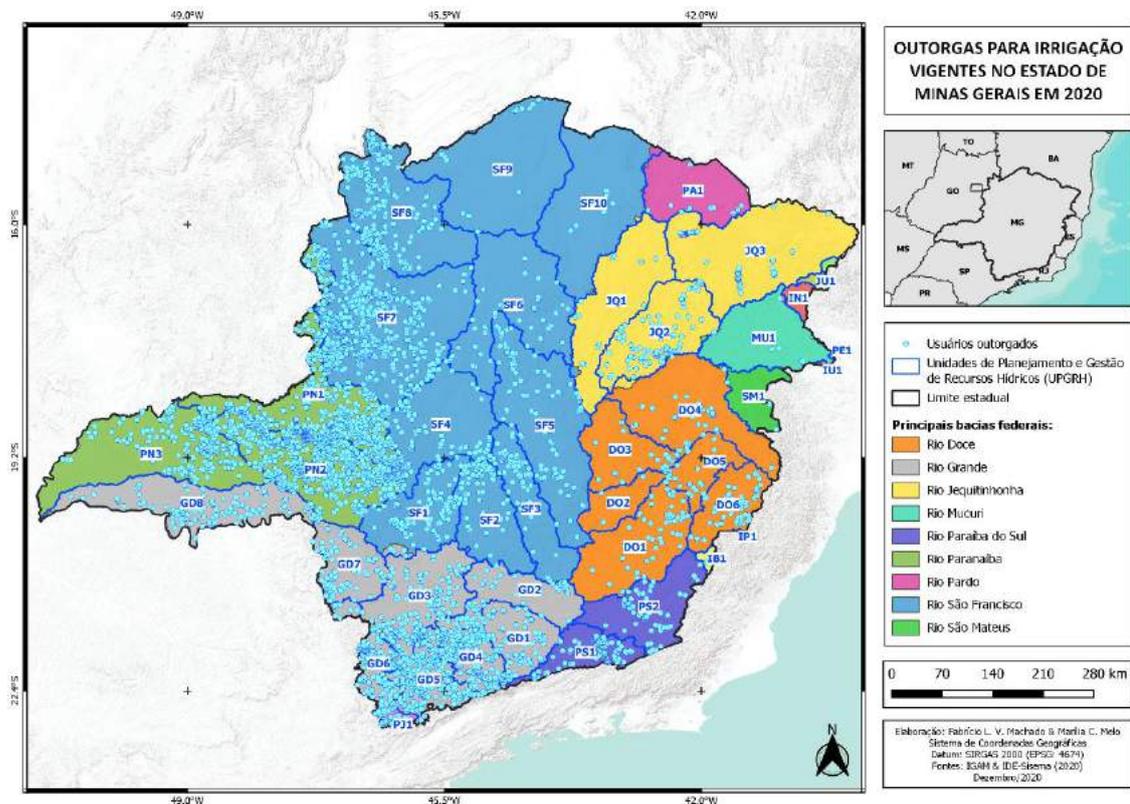


Figura 2. Outorgas para irrigação em Minas Gerais.

29.3 Metodologia

De forma a atender o objetivo proposto para o trabalho, foi criado o modelo conceitual “IrriAguaSolo”, conforme apresentado na Figura 3. Este integra a relação entre irrigação, água e uso do solo, considerando a avaliação da pressão existente sobre a quantidade e a qualidade das águas nas áreas irrigadas no estado de Minas Gerais (rotas de impacto), bem como o estabelecimento de uma relação entre a irrigação, a produtividade agrícola, o desenvolvimento socioeconômico e a consequente redução da pressão sobre a supressão da vegetação nativa (rotas de incremento).

Tabela 1. Características e dados relacionados às variáveis adotadas (VA) no estudo.

VA	Origem dos dados	Características
RH	Outorgas superficiais vigentes (REF, 2020) a partir da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema (IDE).	Foi realizado o cruzamento das informações com a camada geográfica das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), de modo a averiguar as bacias hidrográficas mais pressionadas pelo uso da água voltado à irrigação.
QA	Parâmetros físico-químicos (fósforo total, nitrogênio orgânico e turbidez) a partir da Gerência de Monitoramento da Qualidade das Águas do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) (Ref. Segundo semestre de 2020).	Foi avaliada uma eventual correlação (não necessariamente estatística) entre as condições de qualidade da água observadas nas regiões onde esteve concentrado o maior número de outorgas para irrigação.
US	Plataforma MapBiomas (Ref. 2018 – dado refinado mais recente).	Da Coleção 5, foram adquiridos os <i>rasters</i> para os biomas da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica para integralização com os limites do estado de Minas Gerais. Foi então realizado o cálculo de área de cada classe de uso e cobertura da terra mapeada, a partir da contagem das células correspondentes e posterior multiplicação pela área da célula.
PC	ANA e a Embrapa Milho e Sorgo (Ref. 2014)	A partir do mapeamento dos pivôs centrais no estado, foi gerado o mapa de densidade de <i>Kernel</i> , com o objetivo de demonstrar, de forma espacial, a frequência de ocorrência de determinado fenômeno ou processo.
PA	Censo Agropecuário do IBGA (Ref. 2017)	Foram analisadas as produtividades a nível de município das culturas da soja, do milho e da cana-de-açúcar.

RH: Uso de recursos hídricos superficiais. QA: Parâmetros de qualidade de água. US: Uso e cobertura do solo. PC: Pivôs centrais. PA: Produtividade agrícola.

Para possibilitar melhor avaliação dos fenômenos investigados no território mineiro (relação entre o uso da água na agricultura e a produtividade agrícola dos municípios, bem como a relação entre a irrigação e os impactos nos biomas brasileiros), foram compilados e tratados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) dados referentes às variáveis estudadas, conforme descrito na Tabela 1.

Ressalta-se que: (i) Os parâmetros de qualidade de água (fósforo total, nitrogênio orgânico e turbidez) foram adotados em função da intrínseca relação entre eles, a agricultura e a qualidade da água (WOLI *et al.*, 2004), (ii) Na avaliação de uso e cobertura do solo, em virtude do tamanho expressivo da base de dados matricial da Plataforma MapBiomas, não foi realizada a conversão para o formato vetorial (*shapefile*), (iii) O sistema de irrigação por pivô

central foi adotado no estudo por ser aquele que possui maior relevância do ponto de vista da área irrigada no estado de Minas Gerais, e (iv) As culturas de soja, milho e cana-de-açúcar, foram adotadas no estudo devido à relevância que representam, como *commodities*, dentro do mercado nacional e internacional.



Figura 3. Modelo conceitual "IrriAguaSolo".

29.4 Irrigação e uso do solo

Na Figura 4 pode ser observado o mapa que representa o uso e ocupação do solo no estado de Minas Gerais, considerando-se tanto as áreas relacionadas aos diversos tipos de vegetação, como também infraestrutura urbana, afloramento rochoso, atividades de mineração, além de rios e lagos.

A análise das condições de uso da terra em Minas Gerais, baseada nos dados de 2018 do MapBiomas, indica a preponderância da pastagem como principal classe de cobertura, representando mais de 40% do território mineiro, com área de aproximadamente 235 mil km², bem distribuída entre as bacias dos rios Grande, Doce e São Francisco.

Imediatamente em seguida, feições vegetacionais como formações savânicas e florestais aparecem como classes de cobertura com razoável representatividade no estado, somando juntas mais de 36% do território, o que equivale à área aproximada de 214 mil km². Nesse sentido, destaca-se o papel da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço e do mosaico de áreas protegidas do Norte de Minas como mecanismos relevantes para a manutenção das formações naturais, que são preponderantes nestas áreas protegidas. Por outro lado, essas mesmas feições vegetais não se mostram tão expressivas nas bacias hidrográficas do Triângulo Mineiro e Sul de Minas.

Isso se deve principalmente pelo processo histórico de produção do espaço nas bacias localizadas no Triângulo e Sul, em que se estabeleceu o uso agrícola como principal vocação econômica da região, onde gradualmente foram substituídas as coberturas naturais por mosaicos de agricultura e pastagem, lavouras temporárias e culturas perenes. As duas últimas classes de uso e cobertura citadas somam juntas mais de 13% de Minas Gerais, sendo que a maior concentração espacial se dá justamente nas bacias dos rios Paranaíba e Araguari, no Triângulo Mineiro.

Destaca-se ainda a relativa concentração de atividades agrícolas na bacia do rio Paracatu, no Noroeste mineiro, e em parte da bacia do rio Grande, no Sul de Minas, onde as características de cobertura da terra já se mostram mais diversificadas, com ocorrência de

florestas plantadas (para cultivo de eucalipto e pinus, por exemplo) e maior densidade de infraestruturas urbanas.

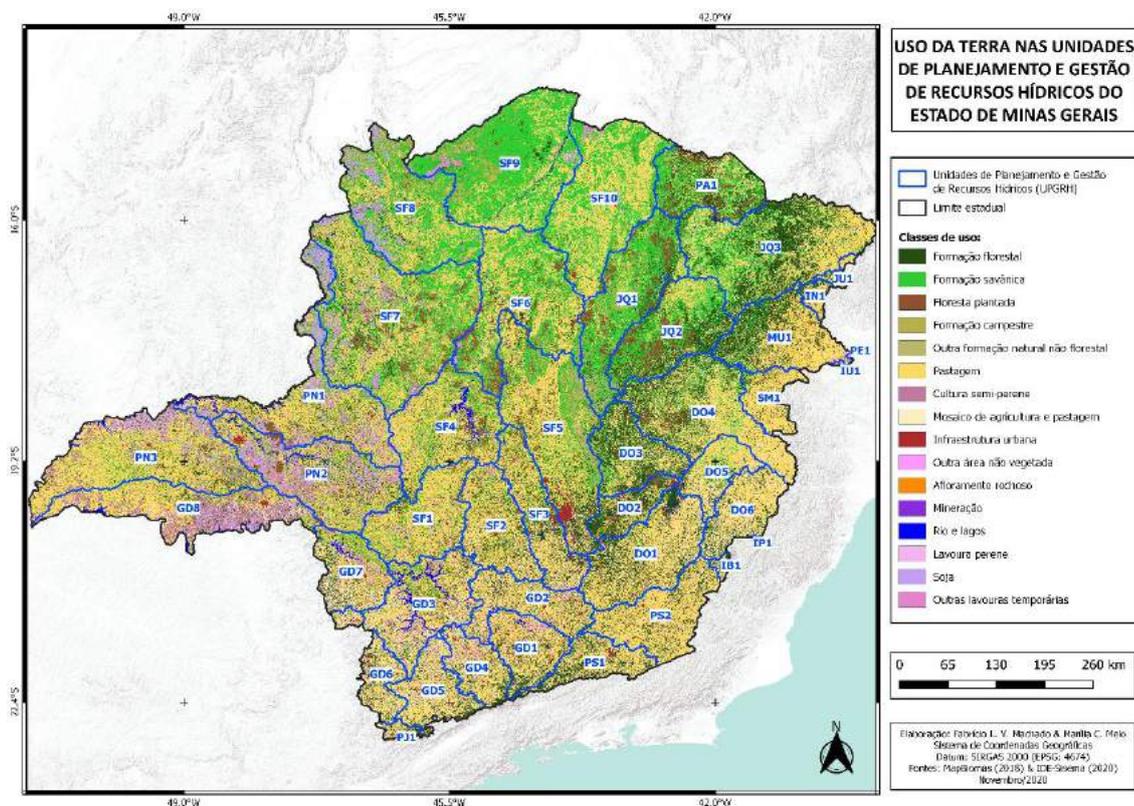


Figura 4. Uso e ocupação do solo em Minas Gerais.

Tabela 2. Condições de uso e cobertura da terra em Minas Gerais em 2018 (Coleção MapBiomas. Cálculos realizados por técnicas de geoprocessamento).

Classes de uso	Área (km ²)	Cobertura (%)
Pastagem	236523,9	40,33
Formação Savânica	118476,7	20,20
Formação Florestal	95865,2	16,35
Mosaico de Agricultura e Pastagem	40546,6	6,91
Formação Campestre	22512,3	3,84
Floresta Plantada	22059,2	3,76
Soja	14610,1	2,49
Outras lavouras temporárias	12626,5	2,15
Cultura Semi-Perene	9176,0	1,56
Rios e lagos	5732,4	0,98
Infraestrutura Urbana	3535,7	0,60
Lavoura perene	1622,4	0,28
Afloramento Rochoso	1488,9	0,25
Outra Área não vegetada	1453,0	0,25
Mineração	273,0	0,05
Outra Formação Natural não Florestal	0,4	0,00
Total	586502	100%

Esse padrão observado dialoga de maneira linear com a concentração das outorgas de direito de uso de recursos hídricos para irrigação no estado, cujas bacias localizadas no Triângulo, Noroeste e Sul são as que registraram maior número de ocorrências (dados que serão melhor discutidos em tópicos posteriores). Contudo, do ponto de vista das condições de uso e cobertura da terra observadas em 2018, percebe-se que a irrigação é responsável por traçar dois perfis distintos no estado: (i) nas bacias do Leste mineiro, como as do rio Doce e Mucuri, as atividades agrícolas não estão necessariamente associadas à irrigação, o que difere substancialmente do Triângulo Mineiro, e (ii) a agricultura no Leste aparece majoritariamente associada com pastagens e outros usos preponderantes da região, como a integração lavoura-floresta.

Esse cenário reforça o papel da irrigação na criação de condições regionais específicas, que por um lado alavancam a economia de determinados setores, mas por outro, podem pressionar os recursos hídricos em quantidade e qualidade e orientar a modificação da paisagem natural por usos agrícolas. A Tabela 1 resume a distribuição das classes de uso e cobertura da terra para Minas Gerais mapeadas nesta pesquisa.

29.5 Irrigação e quantidade de água

Segundo Agência Nacional De Águas E Saneamento Básico (2019) a demanda hídrica no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas, com previsão de um novo incremento de 26 % até 2030. O uso de água em Minas Gerais também apresenta a mesma tendência nacional. Conforme observa-se na Figura 5, do total outorgado (1058,58 m³/s) 76% são destinados para irrigação, 10% ao uso industrial/Mineração e 8% ao abastecimento público/Consumo humano.

A agricultura irrigada, em Minas Gerais, encontra-se concentrada nas regiões do Noroeste de Minas, Alto Paranaíba e no Sul de Minas (Figura 5), sendo que nesta última região predominam-se pequenos irrigantes.

A vazão outorgada em Minas Gerais para irrigação, considerando apenas as captações superficiais, totaliza 796,74 m³ s⁻¹, sendo 37% na bacia do rio São Francisco, 30% na bacia do rio Paranaíba e 23% no rio Grande.

A elevada demanda hídrica em algumas regiões do estado, em especial nos polos de agricultura irrigada, tem intensificado o conflito pelo uso dos recursos hídricos. Essa situação é definida pela "indisponibilidade hídrica aferida pelo balanço hídrico de vazões outorgadas, em que a demanda pelo uso dos recursos hídricos de uma porção hidrográfica seja superior à vazão outorgável" (MINAS GERAIS, 2019). Constatada a situação de conflito, o IGAM publica a Declaração de Área de Conflito (DAC).

Desde 2005 até 2019, quando foi emitida a primeira DAC, foram emitidas 77 declarações no estado, sendo que 20 destas já foram revogadas devido à reversão do quadro de indisponibilidade hídrica. A bacia hidrográfica do rio Paranaíba apresenta a maior quantidade de DAC (34). Já a bacia hidrográfica do rio São Francisco é aquela que apresenta a maior vazão outorgada (102,93 m³ s⁻¹) em processos coletivos e a maior extensão (14.906 km²), o que corresponde a 58 % da área total de 25.563 km² das DAC's vigentes.

Ao longo da última década observou-se um incremento do conflito na bacia do rio São Francisco, em especial na região noroeste de Minas, região onde encontram-se localizados os municípios de Unai e Paracatu, que juntamente com Cristalina (GO) figuram como os três principais municípios irrigantes por pivô central, segundo estudo da ANA e Embrapa (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019). A irrigação, nas Áreas de Conflito, representa uma demanda média de 96% da vazão outorgada, no entanto, outros usos vêm ganhando representatividade nestas porções. Um exemplo, é a região de Paracatu, em

especial as bacias do Santa Izabel e Entre-Ribeiro, onde os usos destinados ao abastecimento público e a mineração, respectivamente, começam a competir com o uso agrícola.

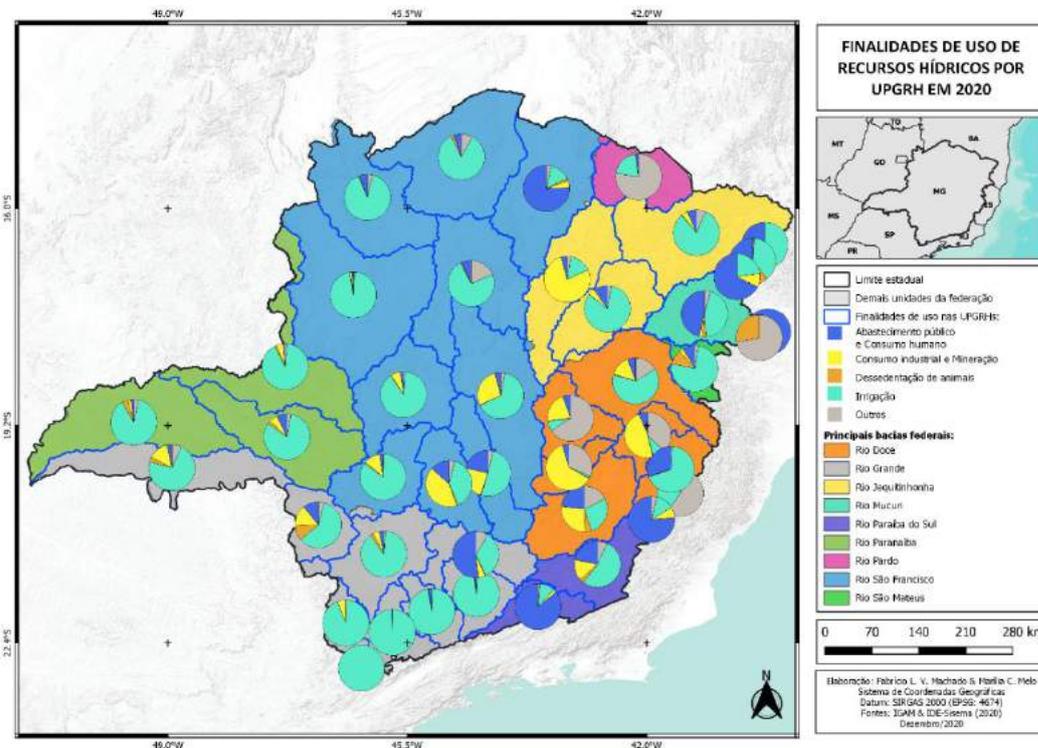


Figura 5. Distribuição das vazões das outorgadas nas principais bacias hidrográficas no estado de Minas Gerais.

29.6 Irrigação e qualidade da água

O escoamento superficial das áreas irrigadas é constituído de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais, cuja intensidade e efeitos sobre os recursos hídricos dependem das características do solo, das práticas agrícolas, da lâmina d'água aplicada e das técnicas de uso e conservação do solo adotadas. Os efeitos são potencializados no período chuvoso, segundo Santos *et al.* (2010), quando o volume de material proveniente da erosão hídrica intensifica-se em decorrência da intensidade das chuvas.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam, respectivamente, os resultados dos parâmetros Turbidez, Nitrogênio Orgânico e Fósforo Total para os pontos de monitoramento de qualidade da água no Estado de Minas Gerais nos períodos seco (3º trimestre) e úmido (1º trimestre) do ano de 2019. Os parâmetros fósforo e nitrogênio podem estar associados ao uso de fertilizantes agrícolas, e a Turbidez com a exposição do solo, responsável pelo assoreamento dos corpos de água (GUARESCHI, 2019; STUTTER *et al.*, 2017; ARHEIMER; LIDÉN, 2000). A avaliação comparativa entre período de estiagem e chuvoso, visa identificar a correlação dos parâmetros com a poluição difusa, sendo essa, característica de atividades agrícolas (HARISSIN *et al.*, 2019; COLLINS *et al.*, 2018).

Ao analisar a distribuição espacial e o comportamento da turbidez nos mapas, fica evidente a participação de sistemas pluviométricos no estabelecimento de cenários distintos em Minas Gerais. Apesar do regime de chuvas ser relativamente distinto nas bacias do Triângulo Mineiro (média anual de 1476 mm em Uberaba) e Leste de Minas (média anual de 1059 mm em Governador Valadares), conforme dados das Normas Climatológicas do Brasil (RAMOS *et al.*, 2009), há de se considerar também o papel do uso do solo na elevação observada do parâmetro turbidez.

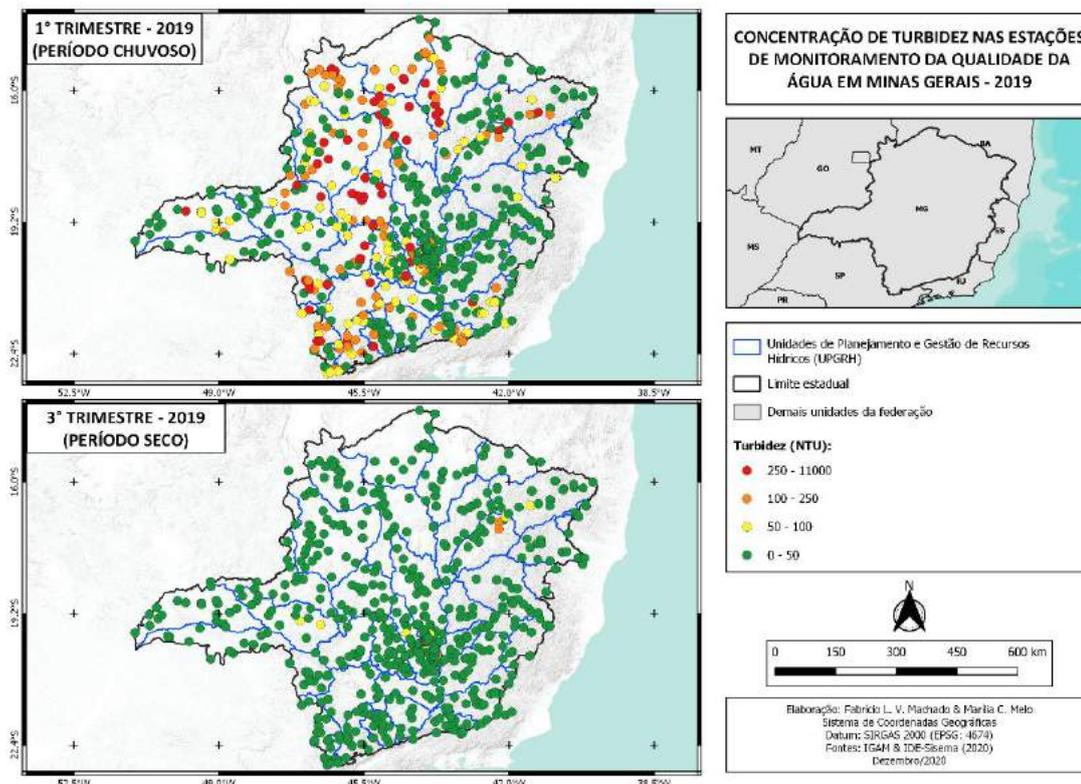


Figura 6. Comparação do parâmetro turbidez nas estações de monitoramento da qualidade da água nos períodos seco e úmido de Minas Gerais em 2019.

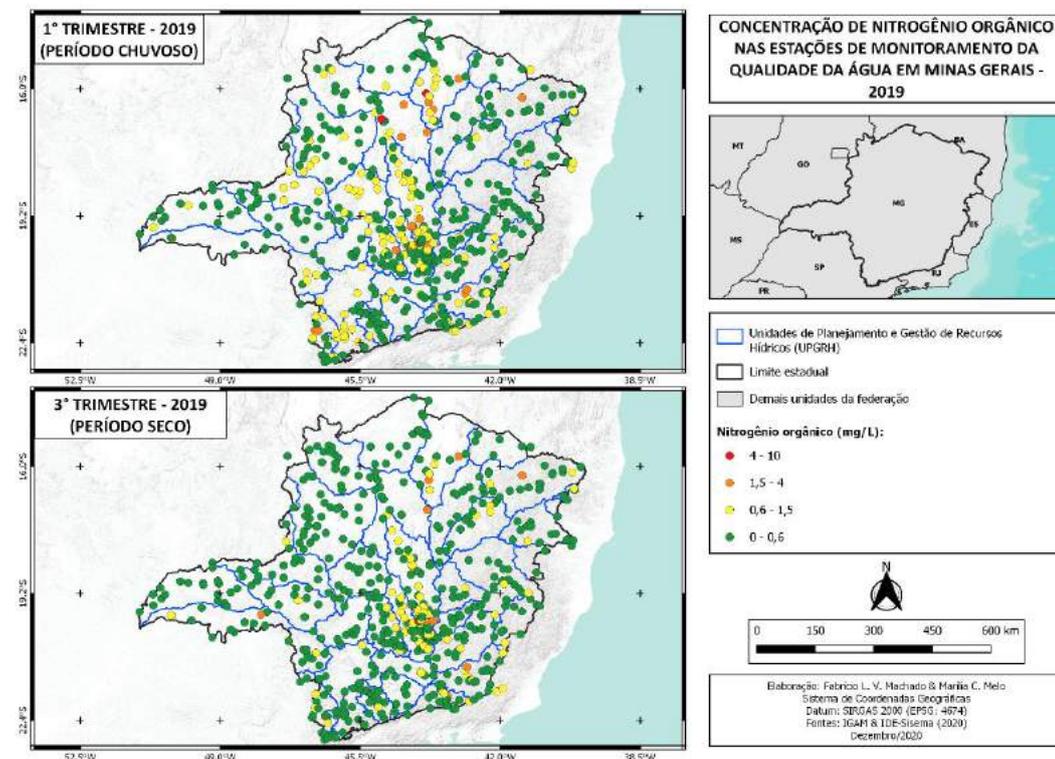


Figura 7. Comparação do parâmetro nitrogênio orgânico nas estações de monitoramento da qualidade da água nos períodos seco e úmido de Minas Gerais em 2019.

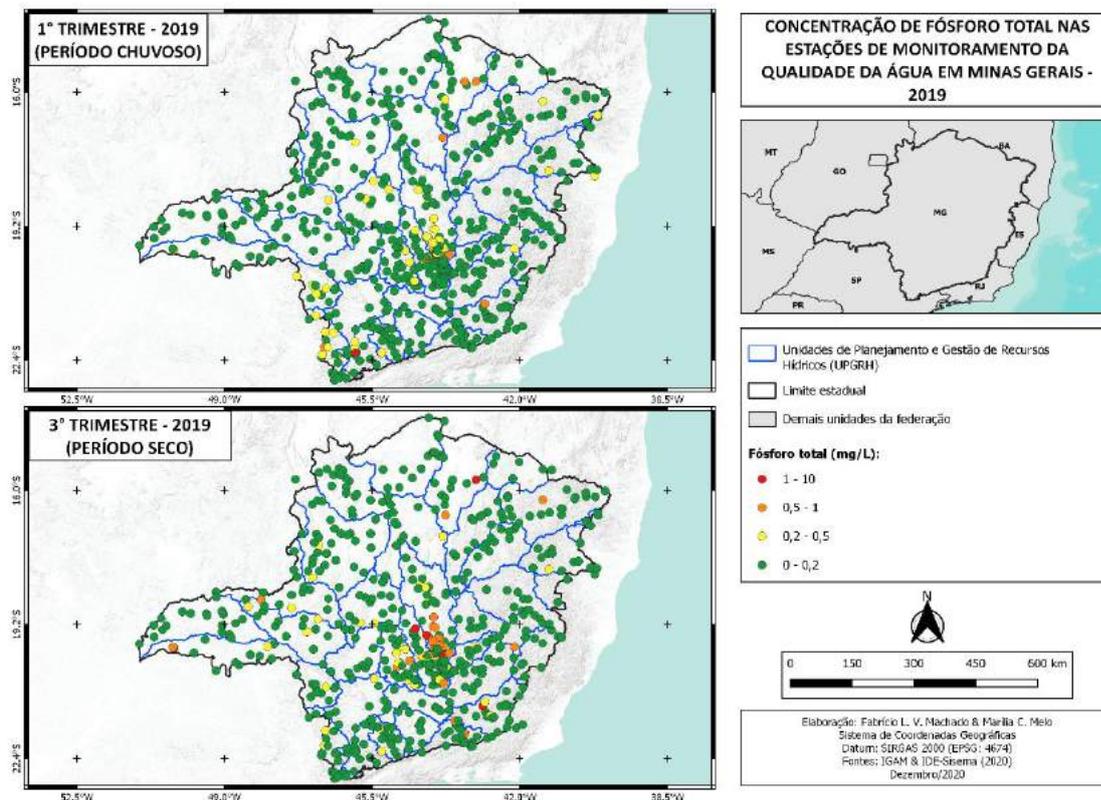


Figura 8. Comparação do parâmetro fósforo total nas estações de monitoramento da qualidade da água nos períodos seco e úmido de Minas Gerais em 2019.

Ao remover a cobertura vegetal natural e introduzir a agricultura, o nível de exposição do solo é elevado e, por consequência, os processos geomorfológicos de remoção, transporte e deposição de sedimentos é acentuado, resultando nas taxas registradas nas estações de qualidade da água.

O padrão de turbidez elevada observado no período úmido, em que foram registrados valores superiores a 250 NTU nas bacias do Triângulo, é muito semelhante, do ponto de vista espacial, à localização das áreas irrigadas, onde se encontram as maiores concentrações de usuários outorgados para esta finalidade em Minas. O mesmo padrão não se repete no período seco, onde os valores anuais de precipitação figuram, em média, próximos aos 20 mm mensais em ambas as regiões. Isso reforça que o papel da precipitação é importante na gênese dos processos físicos deposicionais, mas a cobertura e manejo do solo também são decisivos para o controle da turbidez.

No que se refere ao parâmetro nitrogênio orgânico, padrão semelhante foi observado entre os períodos úmidos e secos, em que no trimestre chuvoso foram verificadas concentrações mais elevadas do elemento, sobretudo nas bacias do Velhas, Paraopeba e Paracatu (Figura 7).

Quanto ao parâmetro fósforo total avaliado nas estações de qualidade entre os períodos úmidos e secos, o padrão observado foi inverso. A acentuação dos valores registrados se deu exatamente nos meses de julho, agosto e setembro, cujo teor alcançou mais de 1 mg L⁻¹ principalmente nas bacias do Velhas e Paraopeba, que drenam a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Este comportamento revela a relação desse parâmetro com fontes pontuais de poluição, atribuídas à ausência de tratamento de esgoto doméstico nas regiões (JARVIE *et al.*, 2006).

29.7 Irrigação e a produtividade agrícola

A água é um dos principais insumos da agricultura, e sua utilização induz a uma intensificação do processo, o que por sua vez reflete em incrementos substanciais na produtividade (NJUKI; BRAVO-URETA, 2019). O aumento da produtividade do ponto de vista da agricultura implica na não necessidade de aumento da fronteira agrícola, fato que do ponto de vista ambiental também é desejável. Entretanto, espera-se um aumento nas captações para atender a agricultura irrigada, resultando no aumento na demanda por recursos hídricos, principalmente em períodos do ano em que as precipitações não atendem totalmente as demandas das culturas (UNITED NATIONS, 2015).

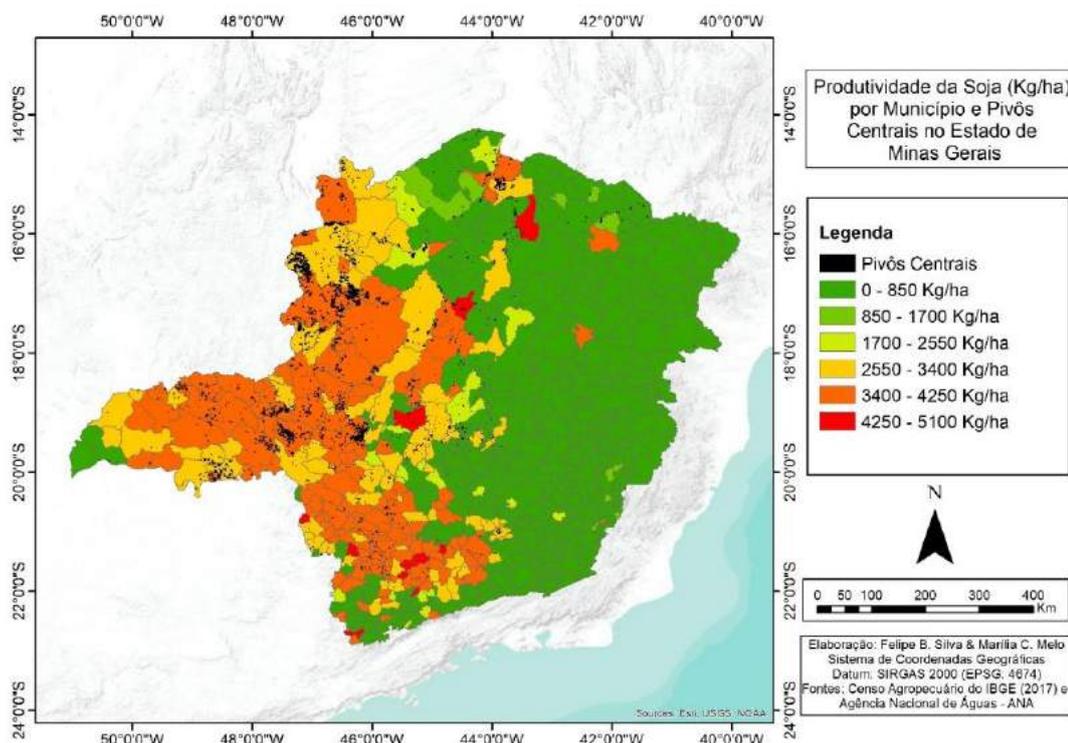


Figura 9. Produtividade por município no Estado de Minas Gerais - Soja.

Com o intuito de reafirmar a importância da irrigação no contexto da produtividade de algumas culturas foi realizado um comparativo entre as áreas irrigadas de cada município no Estado de Minas Gerais com a produtividade das principais culturas produzidas no estado. A análise foi realizada para as culturas da soja, milho e cana-de-açúcar pelo fato de serem *commodities* (soja e milho) e pela sua relevância no estado, bem como pela sua representatividade no contexto da agricultura irrigada.

Na Figura 9, são apresentadas as produtividades (kg ha^{-1}) da cultura da soja por município no Estado de Minas Gerais.

No total, o estado de Minas Gerais produziu 4.666.585 toneladas de soja (grão) de acordo com o Censo Agropecuário de 2017. Analisando a produção da soja por município, 348.295 toneladas foram colhidas em Unaí, o que representa 7,5% do total produzido; 283.010 toneladas foram colhidas em Paracatu (6% do total produzido); 239.904 toneladas foram colhidas em Buritis (5,1% do total produzido).

No que se refere à área municipal irrigada por pivô central, nota-se que os municípios que apresentaram maiores áreas irrigadas coincidem com os municípios que possuem as maiores produções anuais para a cultura da soja. Sendo que Paracatu e Unaí representam,

cada um, 14% da área irrigada do estado, seguidos de João Pinheiro, Jaíba e Perdizes que representam 3% cada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).

Estendendo a análise para outras culturas de relevância no contexto do estado, na Figura 10 é apresentada a produtividade da cultura do Milho por município no Estado de Minas Gerais.

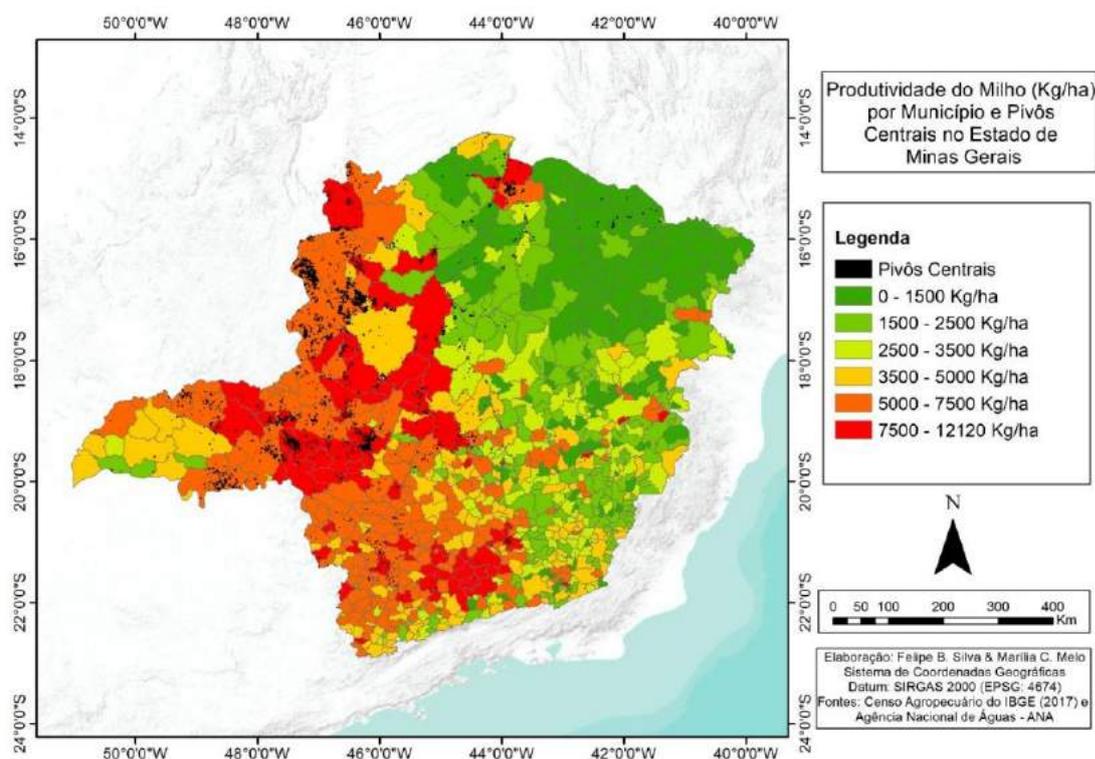


Figura 10. Produtividade de milho (grão) por município no Estado de Minas Gerais.

Analisando a Figura 10, nota-se que as maiores produtividades de Milho ocorrem no Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Sul de Minas. Os municípios que apresentam maiores produções anuais são os municípios de Unaí com 343.202 t ano⁻¹ (6%); seguido de Paracatu com 252.255 t ano⁻¹ (4%) e Araguari (3%). O Estado de Minas Gerais produziu no ano de 2017, de acordo com o Censo Agropecuário, 5.953.820 t ano⁻¹.

É possível perceber que os municípios que apresentaram maiores áreas irrigadas coincidem com os municípios que possuem as maiores produções anuais também para a cultura do milho.

Entretanto, nota-se que a produtividade do milho (Figura 10) não parece estar associada apenas à irrigação, regiões como o sul do estado também apresentam grande produtividade, tal fato pode estar relacionado ao índice pluviométrico. Visto que a cultura do milho possui grande parcela da sua produção em sistema sequeiro.

Aplicando a mesma análise para a cultura da cana-de-açúcar, a Figura 11 apresenta as produtividades dessa cultura no Estado de Minas Gerais.

Analisando a Figura 11, nota-se que a produção de cana-de-açúcar parece estar concentrada nas áreas irrigadas, uma vez que os municípios que apresentam as maiores produtividades possuem maiores concentrações de pivôs centrais.

Em termos de produção anual, o Estado de Minas Gerais produz 65.984.683 t ano⁻¹, de acordo com o Censo Agropecuário de 2017. Os municípios que apresentam maiores

produções anuais são Uberaba com 6841.834 t ano⁻¹ (11%), seguido de Conceição das Alagoas com 3.939.767 t ano⁻¹ (6%) e Frutal 3.640.713 (6%).

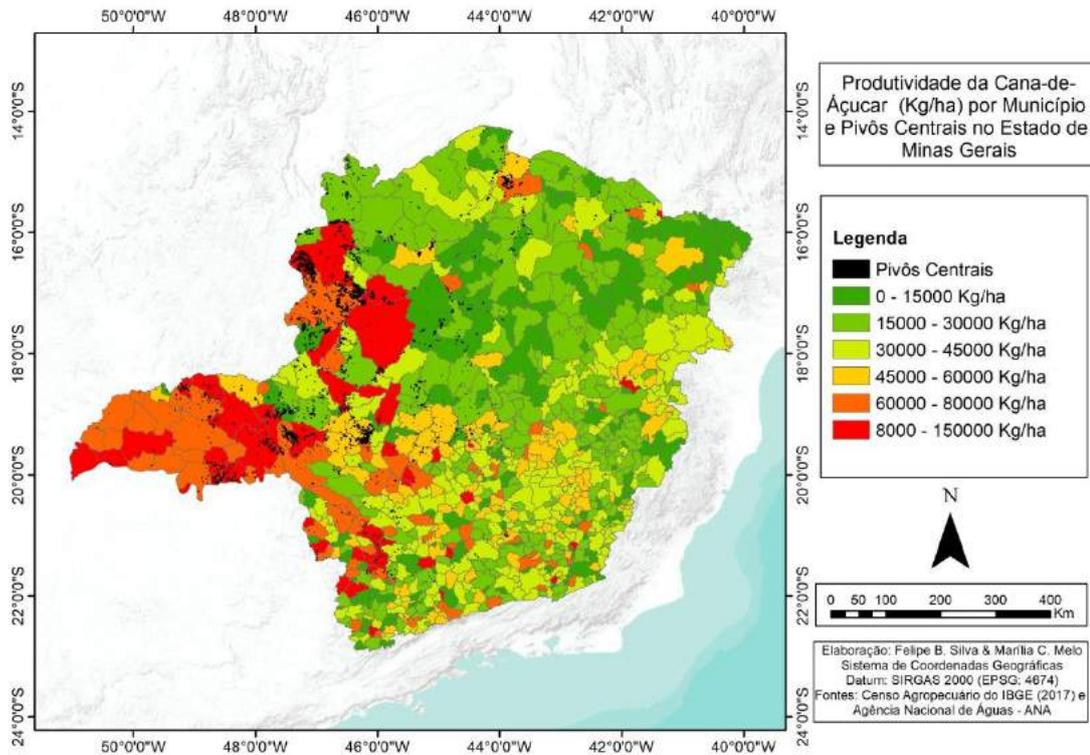


Figura 11. Produtividade de cana-de-açúcar por município no Estado de Minas Gerais.

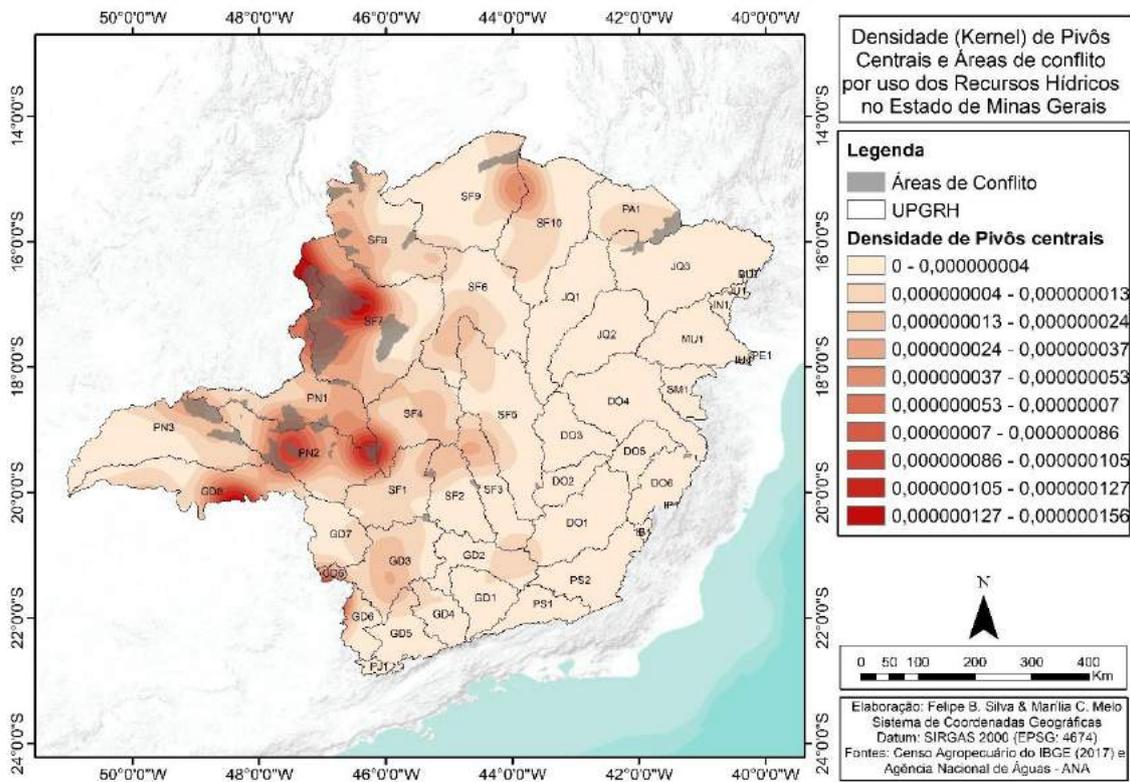


Figura 12. Densidade de pivôs centrais e as áreas de conflito por uso dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.

Por meio dos mapas apresentados, nota-se que as maiores produtividades das grandes culturas analisadas se encontram nos municípios que fazem uso da irrigação, que por sua vez podem ser visualizadas pelos pivôs centrais. Há de se ressaltar que muitos desses municípios apresentam lugar de destaque dentro da produção agrícola do estado de Minas Gerais. Porém é necessário observar também, que esses municípios possuem um quadro marcante de conflito pelo uso dos recursos hídricos.

Pode ser observado na Figura 12 um mapa de densidade de Kernel para os pivôs centrais e as Áreas de Conflito por uso dos Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais.

Com base na Figura 12, nota-se que a utilização da irrigação por pivôs centrais ocorre mais intensamente nas Unidades e Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos SF7, PN1, PN2, GD8, SF4, SF8 e SF10. Sendo que as áreas com maior intensidade de pivôs centrais coincidem com as Áreas de Conflito declaradas no Estado de Minas Gerais.

29.8 Considerações finais

A análise integrada realizada neste trabalho, possibilita inferir que a o excesso de derivações pela agricultura irrigada impacta diretamente na disponibilidade hídrica. Contudo, uma gestão eficiente dos recursos hídricos em associação com técnicas mais avançadas de irrigação e com a prática de reúso de água podem possibilitar a minimização dos conflitos, bem como o incremento de novas áreas irrigadas.

Deve-se destacar, a necessidade de o setor garantir a eficiência no uso da água, com a aplicação de tecnologias e assessoramento técnico para a irrigação. O Censo agropecuário de 2017 indica que, em Minas Gerais, 158.771 propriedades rurais possuem assistência técnica e 448.469, que representa aproximadamente 74% das propriedades rurais, não dispõe de assistência técnica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). Demonstrando assim o desafio e a oportunidade para a agricultura irrigada no estado.

Na vertente da qualidade da água, a aplicação de técnicas conservacionistas de água e solo podem minimizar o carreamento de poluentes para o curso d'água. Destaca-se a metodologia do Zoneamento Ambiental e Produtivo instituído no estado de Minas Gerais pelo Decreto 46.650 de 19 de novembro de 2014 que busca compatibilizar as atividades agrícolas com a preservação ambiental, fundamental para a sustentabilidade da produção.

É um fato inquestionável que o aumento das áreas irrigáveis poderá causar maior pressão sobre os recursos hídricos, porém, se houver um aumento na eficiência dos sistemas de irrigação já implantados e em funcionamento, seria possível a implementação de novas áreas irrigadas, sem necessariamente aumentar excessivamente a demanda por água. Em outras palavras, se os sistemas de irrigação já implementados e em funcionamento possuísem uma elevada eficiência de irrigação, isso por si só seria um aumento na disponibilidade hídrica, uma vez que seriam reduzidas as perdas nesses sistemas já em operação.

Nesse sentido, a gestão de Recursos Hídricos, associada ao gerenciamento da Irrigação, torna-se cada vez mais indissociáveis, sendo o desenvolvimento conjunto dessas duas correntes a garantia de uma agricultura cada vez mais produtiva e ao mesmo tempo sustentável.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada, 86p. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Embrapa Milho e Sorgo, 2. Ed. 47p. Brasília: ANA, 2019a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. 100p. Brasília: ANA, 2019b.

ARHEIMER, B.; LIDÉN, R. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments- influence of spatial and temporal variables. **Journal of Hydrology**, v.227, n.1-4, p.140-159. 2000. DOI [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00177-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00177-8).

BARROS, G.S.C.; CASTRO, N.R.; MACHADO, G.C.; ALMEIDA, F.M.S; SILVA, A.F.; FACHINELLO, A.L.; **Boletim PIB do agronegócio Minas Gerais - 2019**. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), 2020.

ÇETIN, O.; KARA, A. Assessment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. **Agricultural Water Management**, v.223. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105693>.

COLLINS, A.L.; PRICE, J.P.N.; ZHANG, Y.; GOODAY, R.; NADEN, P.S.; SKIRVIN, D. Assessing the potential impacts of a revised set of on-farm nutrient and sediment 'basic' control measures for reducing agricultural diffuse pollution across England. **Science of The Total Environment**, v.621, p.1449-1511. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.078>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/mapas-sobre-irrigacao>. Acesso em: 30 abr. 2021.

ERTHAL, E.S.; BERTICILLI, R. Sustentabilidade: agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **Ciência & Tecnologia**, [S.l.], v.2, n.1, p.64-74, ago. 2018. ISSN 2447-3472. Disponível em: <http://revistaeletronicaocs.unicruz.edu.br/index.php/cienciaetecnologia/article/view/6940>. Acesso em: 7 jan. 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.33053/cientec.v2i1.6940>.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Valor Bruto da Produção no Estado de Minas Gerais 2020**, Belo Horizonte, FAEMG, 2020. Disponível em: <http://www.sistemafaemg.org.br/Search.aspx?tag=Valor%20Bruto%20da%20Produ%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 26 mar. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil**: Identificação de Áreas Prioritárias, Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **World Agriculture: Towards 2015/2030**, Roma, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-y4252e.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2021.

FURQUIM, M.G.D.; ABDALA, K.O. Sustentabilidade e expansão da agricultura irrigada: um olhar para o setor no estado de Goiás. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.47-56, 2019.

GÓES, B.C.; PUTTI, F.F.; PIAZENTIN, J.C.; GABRIEL, C.P.C.; GABRIEL FILHO, L.R.A. Technological development and policies in the scenario of irrigated agriculture in Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v.6, n.3, p.292-295. 2019. DOI 10.22161/ijaers.6.3.38.

GRUÈRE, G.; SHIGEMITSU, M.; CRAWFORD, S., Agriculture and water policy changes: Stocktaking and alignment with OECD and G20 recommendations, OECD Food, **Agriculture and Fisheries Papers**, n.144, OECD Publishing, Paris, 2020. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/agriculture-and-water-policy-changes_f35e64af-en. Acesso em: 27 mar. 2021.

GURESCHI, R.F.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; SARKIS, L.F.; MARTINS, M.R.; JANTALIA, C.P.; CABRIALES, J.J.P.; NÚÑEZ, J.A.V.; URQUIAGA, S. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe. **Terra Latinoamericana**, v.37, n.2. 2019. DOI <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.423>.

HARRISON, S.; MCAREE, C.; MULVILLE, W.; SULLIVAN, T. The problem of agricultural 'diffuse' pollution: Getting to the point. **Science of The Total Environment**, v.667, p.700-717. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.169>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017– Resultados preliminares, Rio de Janeiro, RJ, 2018**. Disponível em:

https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 26 mar. 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Belo Horizonte, IGAM, 2020. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 26 mar. 2021.

JARVIE, H.P.; NEAL, C.; WITHERS, P.J.A. Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? **Science of The Total Environment**, v.360, n.1-3, p.246-253. 2006. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.038>.

KUKAL, M.S.; IRMAK, S. Impact of irrigation on interannual variability in United States agricultural productivity. **Agricultural Water Management**, v.234. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106141>.

KVÍTEK, T.; ZELABEK, P.; BYSTRICKY, V.; FUCEK, P.; LEXA, M.; GERGEL, J.; NOVAK, P.; ONDR, P. Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic. **Physics and Chemistry of the Earth**. v.34, p.541-551, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.07.003>.

MASHNIK, D.; JACOBUS, H.; BARGOUTH, A.; WANG, E.J.; SHELBY, R. Increasing productivity through irrigation: Problems and solutions implemented in Africa and Asia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.22, p.220-227. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.005>.

MINAS GERAIS. Decreto Estadual 47.705 de 4 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. **Diário Executivo do Estado de Minas Gerais**, 5 set. 2019.

MUÑOZ, J.F.V.; AZNAR-SANCHES, J.A.; BATLES-DELAFUENTE, A. FIDELIBUS, M.D. Sustainable irrigation in agriculture: an analysis of global research. **Water**, v.11, n.1758. 2019. DOI <https://doi.org/10.3390/w11091758>.

NJUKI, E.; BRAVO-URETA, B.E. Examining irrigation productivity in U.S. agriculture using a single-factor approach. **Journal of Productivity Analysis**, v.51, n.2-3, p.125-136. 2019. DOI <https://doi.org/10.1007/s11123-019-00552-x>.

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília: INMET, 2009.

SANTOS, G.G.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.115-123. 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200001>.

STUTTER, M.; DAWSON, J.J.C.; GLENDELL, M.; NAPIER, F.; POTTS, J.M.; SAMPLE, J.; VINTEN, A.; WATSON, H. Evaluating the use of in-situ turbidity measurements to quantify fluvial sediment and phosphorus concentrations and fluxes in agricultural streams. **Science of the Total Environment**, v.607-608, p.391-402. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.013>.

UNITED NATIONS. **The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world** - UNESCO Digital Library. 2015.

WOLI, K.P.; NAGUMO, T.; KURAMOCHI, K.; HATANO, R. Evaluating river water quality through land use analysis and N budget approaches in livestock farming areas. **Sciences of the Total Environment**, v.329, p.61-74. 2004. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2004.03.006](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.03.006).

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 2016. Wastewater and Jobs. Paris, UNESCO, WWAP, 2016.

WORLD BANK, 2020. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CAPÍTULO 30

30 UMA ANÁLISE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NO BRASIL

Marcus Schmidt

Resumo

A agricultura irrigada tem sido fundamental para o desenvolvimento da produção agrícola, protegendo o meio ambiente pois evita a abertura de novas áreas para produção e é um contribuinte poderoso para o PIB agrícola do país. Neste contexto a Irrigação por Aspersão, dada a sua aptidão de irrigar diversas culturas tem se firmado como um dos métodos mais empregados atualmente no Brasil.

30.1 Introdução

A Irrigação por Aspersão é o método onde os sistemas são na sua maioria pressurizados e a água é aspergida sobre as plantas ou sobre o terreno e ou subcropa, simulando uma chuva natural e adapta-se a maioria das culturas, sendo os solos mais aptos aqueles que possuem maior capacidade de infiltração de água como solos arenosos e franco-arenosos.

Talvez seja um dos métodos mais versáteis e com ampla aplicabilidade, não só em agricultura, mas no controle de ambientes e temperatura como conforto animal, despoeiramento, mineração, paisagismo e indústria.

30.2 Caracterização dos sistemas de aspersão

No Brasil, os sistemas de irrigação por aspersão e ou utilização de aspersores são normalmente assim conhecidos: (i) sistemas de irrigação por aspersão convencionais: aspersores montados em linhas tipo portáteis ou semiportátil (com linhas laterais móveis de principal fixa) ou fixos; (ii) sistemas de irrigação por malha, mini aspersão, microaspersão; (iii) sistemas autopropelidos (carretéis, barra irrigadoras); (iv) sistemas de montagem direta: aspersores de grande porte, canhão, montados em tripé e ou sobre motobomba; (v) sistemas de irrigação mecanizados: pivô central, pivô rebocável e sistemas lineares; (vi) sistemas de irrigação por aspersão para controle de temperatura, geadas e ambiência; (vii) sistemas de irrigação para paisagismo; e (viii) sistemas de aspersão para indústria e ou mineração: aspersores isolados ou não.

Os sistemas de irrigação por aspersão podem ser projetados de acordo com a necessidade do usuário, com base nos fatores locais que impactarão em diversos aspectos operacionais, de manejo e no custo por hectare do sistema. Os pontos que devem ser considerados para projeto são (BERNARDO *et al.*, 2006): (i) tamanho e formato da área; (ii) necessidade hídrica e forma de aplicar a água; (iii) cultura; (iv) tipo de solo; (v) topografia; (vi) qualidade da água; (vii) disponibilidade de mão-de-obra; e (viii) automação.

Para entendermos o potencial da Irrigação por Aspersão e sua contribuição para a agricultura brasileira é importante traçarmos uma linha do tempo da irrigação no Brasil, visando principalmente as políticas públicas e de financiamento, tão importantes ao desenvolvimento do setor. Talvez depois dos sistemas de irrigação por inundação os sistemas de aspersão sejam os que mais se difundiram e abriram muitas áreas no Brasil.



Figura 1. Sistema de irrigação por aspersão: (A) portátil em pastagem, e (B) automatizado, fixo em bananas.



Figura 2. Controle de ambiente para conforto animal com aspersores (A) e sensores de temperatura (B).



Figura 3. Sistema de irrigação por (A) carretel (IRRIGABRASIL, 2020) e (B) barra irrigadora.

30.3 Histórico da irrigação no Brasil

No Brasil a irrigação teve início no Rio Grande do Sul por volta de 1903, por iniciativa privada, na cultura do arroz pelo método de irrigação por inundação. Já os outros métodos, dentre eles o de aspersão tiveram seu desenvolvimento atrelados ao interesse dos produtores rurais de modo privado, mas o fator alavancador são as políticas públicas e ou execução de projetos públicos, que podem ser divididas em fases (CHRISTOFIDIS, 1999; RODRIGUES, 2017).

Primeira Fase: até 1950. Fase de engenharia e de ensaios de irrigação para introduzir a irrigação como forma de superar os efeitos da estiagem, fortalecendo a economia regional. Eram ações isoladas e dirigidas a objetivos específicos, por arroz no Rio Grande do Sul e algumas ações no Nordeste.

Segunda Fase: 1950 a 1970. Esta fase se baseia nas ações da Sudene, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, criada em 1959, desenvolveu planos diretores e projetos pilotos para implantação dos projetos em maior escala. Nesta fase passamos de simplesmente políticas de construir açudes para algo mais estruturado.

O Anuário Agrícola Brasileiro, 1953, cita que na região de São Paulo, houve uma corrida para irrigação nas lavouras de café com base nas experiências bem sucedidas em laranjais na Califórnia, visitadas por um produtor que ficou impressionado com as safras que os americanos tiravam daquelas terras arenosas e secas e decidiu importar os componentes de um sistema com motor a combustão, tubulação metálica para linhas móveis e aspersores; Antes mesmo de obter os resultados da safra irrigada outros produtores aderiram e compraram os sistemas, quando então com alguns projetos já em funcionamento, houve a liberação de financiamento da Carteira de Crédito Agrícola e Industrial do Banco do Brasil, com prazo de 5 anos para amortização da dívida e juros de 7% ao ano.

Terceira Fase: 1970 até 1985, com a criação do PIN, Plano Nacional de Irrigação e do Geida, Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola, iniciaram-se estudos e definições de viabilidade técnico-econômica de projetos, a maioria no Nordeste, traçando também diretrizes para o Plano Nacional de Irrigação; Nesta fase surgem as primeiras linhas de crédito especial a fundos perdidos para obras de infraestrutura a nível estadual, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, em 1981 e em 1982 a instituição do Profir, Programa de Financiamento para Equipamentos de Irrigação.

Quarta Fase: A partir de 1986 com a instituição do cargo do Ministro Extraordinário para assuntos de Irrigação, que concentrou esforços par desenvolvimento da agricultura irrigada no Nordeste com suporte ao desenvolvimento de projetos públicos.

Quinta Fase: de 1996 até 2013, onde tivemos estudos de Políticas e Estratégias para um Novo Modelo de Irrigação, feito pelo Banco do Nordeste em cooperação com o BID, Banco Interamericano de Desenvolvimento, e a aprovação da Lei 12.787 sobre Política Nacional de Irrigação, que proporcionou um fomento da irrigação na agricultura pelo setor privado.

As informações sobre as áreas irrigadas por método no Brasil nem sempre são precisas e podem ser obtidas a partir de levantamento de órgãos oficiais e ou associações de fabricantes. Dentre as fontes de informações as principais são o IBGE, através dos censos agropecuários e a Abimaq, Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, através da CSEI, Câmara Setorial dos Equipamentos de Irrigação, que reúne os principais fabricantes de equipamentos e sistemas de irrigação.

Segundo o Censo Agropecuário (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017), 10% dos estabelecimentos do país usaram técnicas de irrigação sendo

assim distribuídos: (i) 21% da área por inundação; (ii) 2,5% por superfície (sulcos, faixas e inundação); (iii) 21% pivô central; (iv) 27% outros métodos de aspersão; (v) 24% irrigação localizada e (vi) 3,5% outros métodos diversos.



Figura 4. Área irrigada no Brasil em 2006/2017 segundo o método (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006, 2017).

De acordo com Nádia de Barros do grupo Pensa (RODRIGUES, 2017), a análise dos dados do Censo Agropecuário (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006) mostram as vantagens econômicas da irrigação onde os valores obtidos em 47,5 milhões de hectares de culturas permanentes e temporárias geraram R\$ 77,5 bilhões (R\$ 1.632,75 ha⁻¹), enquanto os 5,6 milhões de hectares irrigados geraram R\$ 19,5 bilhões (R\$ 3.449,15/ha), ou seja, um valor em torno de 116% superior nas áreas irrigadas.

Tabela 1. Área irrigada no Brasil.

Método Irrigação	2018	2019	2020
Pivô Central	92.200	97.500	117.000
Carretel	13.750	12.500	16.250
Convencional	31.000	31.000	37.200
Localizada	64.000	68.500	78.775
Total (ha/ano)	200.750	209.500	249.225

Abimaq/CSEI: divulgação da área irrigada no Brasil.

Analisando a Tabela 1, temos que os métodos de irrigação por aspersão: Pivô Central, Carretel e Aspersão Convencional representam a partir de 2018 em torno de 68% do total das áreas irrigadas (excluindo-se irrigação por inundação e sulcos).

O cenário da expansão da irrigação, principalmente por aspersão ficou evidente quando os fabricantes se instalaram no Brasil entre 1970 e 1990 devido ao potencial do mercado brasileiro e aproveitando-se do protecionismo econômico que dificultava e encarecia a importação de equipamentos e sistemas de irrigação.

Hoje há uma variedade de empresas presentes em nosso mercado, com capital nacional, norte americano, israelense, indiano e europeu, empresas estas que lideram as tecnologias de aplicação de água, disponibilizando ao agricultor brasileiro as mais modernas técnicas e produtos do mercado mundial.

O desenvolvimento dos sistemas de irrigação por aspersão pode ser analisado sobre algumas óticas: (i) softwares para elaboração, execução dos projetos e manejo da irrigação; (ii) evolução tecnológica dos componentes como: emissores, bombas, motores elétricos e combustão, tubulações, acessórios, etc., sempre buscando operar com mais baixas pressões de operação, melhor performance e mais eficiência energética; (iii) as novas tecnologias de

automação, controle e monitoramento dos equipamentos que permite aos proprietários otimização da mão-de-obra e aos gestores a obtenção de dados mais confiáveis que junto com as novas técnicas de aplicação de água proporcionam ganhos significativos devido à redução de custos e aumento da produtividade; (iv) novas tecnologias aplicadas a agricultura irrigada: fertirrigação, energia solar, entre outros; e (v) a consolidação das empresas que utilizem estratégias para o Uso Racional da Água e Energia, Manejo da Irrigação, fazendo com que a atividade da irrigação seja sustentável, através do controle da aplicação de água, evitando excessos otimizando os recursos hídricos, sendo um dos fatores responsáveis pelo sucesso de muitos empreendimentos.

As principais empresas, sejam fabricantes de equipamentos e acessórios, prestadores de serviço e consultoria têm desenvolvido produtos e diversas tecnologias de aplicação para atender aos anseios e necessidades juntamente com práticas agrícolas mais eficientes.

30.4 Irrigação de algumas culturas

Podemos citar alguns casos de versatilidade dos sistemas de aspersão e exemplo de tecnologia de aplicação.

30.4.1 Arroz irrigado por pivô central

O cultivo de arroz no Rio Grande do Sul, onde em determinadas áreas as técnicas de irrigação utilizadas normalmente, inundação e taipas, foram substituídas por irrigação por aspersão via pivô central, que possibilita fazer uma rotação de culturas e integração lavoura-pecuária, ganhando espaço em certas áreas e ou locais onde o custo de produção e declividade do terreno são limitantes. A irrigação por pivô central possibilita quase a mesma produtividade com menor consumo de água, facilitando as operações mecanizadas, principalmente semeadura e colheita.

O custo da produção direta do arroz irrigado por pivô central fica em torno de 25% menor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2017) podendo-se ter ganhos econômicos maiores devido ao custo de oportunidade propiciado pela rotação das culturas.



Figura 5. Arroz irrigado por pivô central.

30.4.2 Café irrigado por pivô central

A irrigação do café normalmente é feita pelos sistemas de irrigação por aspersão e ou localizada. Os sistemas de irrigação por aspersão utilizados podem ser os convencionais, fixos ou portáteis, carretéis e ou pivô central.



Figura 6. Faixa molhada em pivô central. Aspensor tipo Lepa.



Figura 7. Pivô central. Aspensor tipo Lepa irrigando a cultura de café.

Com a migração da cultura para áreas como Bahia, nordeste de Minas, houve uma adaptação dos equipamentos pivô centrais utilizados para a produção de grãos para a cultura de café. Os sistemas dimensionados para grãos aplicavam água em área total. Esta adaptação foi feita a partir de um sistema desenvolvido nos Estados Unidos chamado Lepa e do princípio

utilizado em irrigação da cultura de citros em pivô central e plantios circulares, aplicando água na faixa de absorção das raízes.

Nesta adaptação, o sistema Lepa (*Low Energy Precision Application*), Aplicação Precisa com Baixa Energia, os emissores são montados de acordo com o espaçamento entre as linhas da cultura, e são colocados muito mais próximos ao dossel da cultura. Trabalham com pressões muito baixas, 6 a 10 psi e por não irrigarem entre as linhas da cultura, possibilitam uma economia de água se comparado com a irrigação em área total. No início do cultivo a água é aplicada na posição *spray* e depois com o desenvolvimento da cultura na posição *bubbler* ou borbulhador, sendo aplicada na forma de “leques” (Figuras 6 e 7).

30.4.3 Citros Irrigado por pivô central

Partindo do conceito de irrigação direcionada, o sistema pivô central é equipado com sprays setoriais que irrigam o cultivo plantado em círculo e as zonas de interesse da cultura, no caso evitando molhar as folhas afim de evitar problemas fitossanitários e desenvolvimento de pragas e doenças. Este sistema, tem a vantagem de não necessitar de filtragem e tendo os benefícios de: (i) economia de água por irrigar somente as faixas de absorção; e (ii) diminuição dos tratos culturais entre as linhas de plantio.



Figura 8. Pivô central. Aspensor tipo Spray direcional irrigando citros: instalados junto à torre (A) e ao vão (B).

30.5 Irrigação por aspersão e manejo

Com relação à quantidade de água a ser aplicada e manejo da irrigação adotado, dentre os métodos de irrigação talvez a Irrigação por Aspersão seja um dos mais flexíveis e aptos a aplicar a água de acordo com o tipo de irrigação – manejo desejado: (i) irrigação total, (ii) irrigação suplementar (com *deficit* hídrico e irrigação de salvação).

Na irrigação total a lâmina do equipamento será dimensionada para atender a maior demanda hídrica das culturas durante o ciclo, ocorrendo normalmente em regiões áridas e com pouca precipitação.

Neste caso, devido ao intervalo entre irrigações (turno de rega) ser menor, recomenda-se que os sistemas de irrigação por aspersão sejam aqueles que fiquem mais disponíveis e prontos para o funcionamento na área, ou seja, sistemas fixos como irrigação por aspersão fixa e pivôs centrais são sistemas que funcionarão com um elevado número de horas irrigando por ano e com um custo de aquisição maior (R\$ ha⁻¹).

Na irrigação suplementar e com *deficit* talvez seja onde encontremos o maior percentual de equipamentos de irrigação por aspersão instalados sendo que neste caso o dimensionamento do tipo de equipamento a ser utilizado está muito ligado ao nível de investimento desejado pelo produtor e condições locais do projeto. Estes dois métodos de manejo possibilitam a maximização da produção por utilização de água, energia, equipamento e mão-de-obra.

Na irrigação suplementar, parte da água demandada pela cultura é suprida pela chuva e o restante pelo equipamento de irrigação.

Na irrigação por *deficit*, onde é suprida somente uma parte da demanda hídrica, tem-se a otimização de equipamentos e recursos disponíveis: água, energia, e investimento, principalmente. Não é atingido o potencial máximo da cultura. Porém, viabiliza-se o empreendimento devido à maximização dos lucros.

Nestes casos como a frequência da irrigação é maior, os equipamentos terão maior número de horas irrigando por ano, com lâminas de projeto maiores a serem aplicadas; Como os equipamentos tem que estar mais disponíveis para as áreas a serem trabalhadas, os equipamentos por aspersão fixos são os mais recomendados: aspersão fixa e ou pivô central; Os equipamentos portáteis e ou semipotáteis podem ser utilizados, aspersão convencional, carretéis e ou barras irrigadoras, pivôs rebocáveis, porém terão um custo operacional maior por mm de água aplicado em função da mão de obra e ou maior potência instalada (cv ha^{-1}).

A Irrigação de Salvação, é definida como a lâmina de água aplicada na cultura, normalmente de sequeiro, somente em um estágio ou período relativamente curto de modo que esta não sofra estresse hídrico devido à veranicos e tenha quebra significativa na produção e ou morra; O conceito surgiu na região Nordeste, onde após as primeiras chuvas e plantio é comum ocorrer longas estiagens.

É um manejo de irrigação típico da cultura de cana-de-açúcar onde são feitas duas ou três aplicações de 60 mm após o plantio ou na cana soca para rebrota. Neste conceito, tem-se que irrigar grandes extensões de áreas com pequenas lâminas, podendo-se ainda utilizar águas residuais e ou vinhaça para fertirrigação.

O mesmo conceito foi também aplicado em culturas como laranja e café em outras regiões do Brasil. No cultivo do café, em muitas regiões onde não há necessidade da irrigação plena, devido a veranicos pode haver necessidade de um pequeno fornecimento de água, através de apenas uma ou duas irrigações, evitando perdas significativas, em alguns casos de até de 100%, por falta de granação dos frutos, além das perdas vegetativas.

Na citricultura, a deficiência hídrica em determinadas fases reflete-se negativamente na quantidade e qualidade dos frutos. Em alguns anos na região de São Paulo era usual o aluguel de equipamentos de irrigação para estas ocasiões.

A irrigação de salvação foi viabilizada principalmente pela flexibilidade dos sistemas de irrigação por aspersão móveis: sistemas convencionais, carretéis, barras irrigadoras, sistemas de montagem direta e pivôs rebocáveis.

Estes sistemas apresentam baixo valor de investimento, R\$/ha, uma vez que irrigam extensas áreas por unidade de água aplicada e demandam maior mão de obra para operação com maior custo de manutenção.

Na Figura 11 é possível visualizar os sistemas de irrigação por aspersão mais adequados em função do manejo e lâmina aplicada.

Temos os sistemas aplicáveis em função da lâmina de projeto e condições locais (área): (i) sistemas de irrigação por aspersão móveis: convencional móvel, montagem direta, carretel, barra irrigadora, pivô rebocável e linear, (ii) sistemas de irrigação por aspersão: convencional

fixo, pivô central rebocável e pivô central; e (iii) sistemas de irrigação por aspersão: convencional fixo, pivô central.

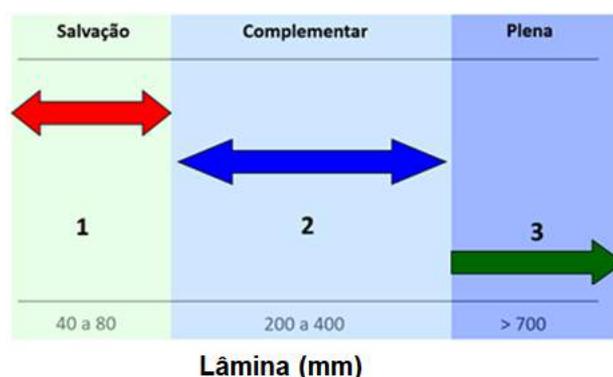


Figura 9. Seleção do sistema de irrigação em função do tipo de irrigação (salvação, complementar e plena) e da lâmina aplicada.

30.6 Considerações finais

A irrigação por aspersão tem evoluído na busca por eficiência de aplicação, automação e custos. As indústrias de equipamentos e de componentes têm tido importante participação no desenvolvimento de produtos e tecnologias assim como as empresas de consultoria e manejo.

No caso da irrigação por aspersão a evolução tecnológica dos emissores, buscando operar com mais baixas pressões e melhor performance possibilitou diferentes maneiras de se projetar, montar e operar os sistemas de irrigação por aspersão, com mudanças no modo de plantar e tratos culturais.

Os itens que compõe a automação em um projeto de irrigação por aspersão, painéis controladores, válvulas e sensores, tem hoje uma maior disponibilidade e preços mais acessíveis, fazendo que os projetos tenham todos os benefícios da automação com custo por hectare acessíveis, mesmo em áreas menores e ou sistemas mecanizados.

A transmissão e operação de dados em tempo real hoje já é fato em muitas unidades agrícolas com sistemas monitorados e operados à distância, economizando-se tempo, idas ao campo e melhoria na performance e maximização dos recursos.

O mercado brasileiro de irrigação é crescente, tendo na irrigação por aspersão a maior fatia, mas os desafios para expansão da Irrigação no Brasil ainda são grandes devido a alguns entraves como: (i) linhas de financiamento; (ii) infraestrutura (energia elétrica, estradas, entre outros); e (iii) legislação e regulamentação ambiental.

Nos tempos atuais a sociedade tem plena certeza da força do agronegócio na geração de PIB, empregos e alimentos.

Referências

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. Ed. UFV, Viçosa, 8.ed., 625p., 2006.

CHRISTOFIDIS, D. **Situação das áreas irrigadas: métodos e equipamentos de irrigação**. Brasil. Brasília, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Clima Temperado - Pelotas, RS. **Sistemas de Produção Arroz Irrigado por Aspersão no Rio Grande do Sul**. 1ª edição - Obra digitalizada, 140 p., 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário do Brasil: 2006. Rio de Janeiro, IBGE, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário do Brasil: 2017. Rio de Janeiro, IBGE, 2019.

IRRIGABRASIL. Irrigabrazil Sistemas de Irrigação, 2020. Disponível em: www.irrigabrazil.com. Acesso em: 30 abr. 2021.

RODRIGUES, L.N. Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável, 2017. Brasília, DF, **Inovagri**, 1 Ed., 327 p., 2017.

CAPÍTULO 31

31 MANEJO PROFISSIONAL DA IRRIGAÇÃO: ASPECTOS GERAIS E ANÁLISE DAS CULTURAS DE FEIJÃO, MILHO, SOJA E ALGODÃO

Sandro Batista Santos Rodrigues

Resumo

O Brasil se tornou um dos maiores exportadores de alimentos, fibras e bioenergia do mundo, deixando a condição de importador de alimentos que ocupava até a década de 70, em função dos avanços tecnológicos que possibilitaram essa transformação, incluindo entre elas a irrigação. A demanda de alimentos tende a continuar crescendo, acompanhando o crescimento populacional, a urbanização e o crescimento de renda da população. Por outro lado, as restrições climáticas e de terras para expansão da agropecuária fazem necessário o uso de tecnologias que permitem aumentar a produção na mesma área atual. A irrigação é uma das soluções para essa situação, trazendo segurança alimentar e proporcionando aumento da produtividade e estabilidade da oferta de alimentos. A utilização eficiente de água na Agricultura irrigada é de fundamental importância, tanto para garantir a viabilidade e a obtenção de altas produtividades e qualidade dos produtos, como também para que o uso desse recurso precioso seja realizado de forma adequada e sustentável, preservando o meio ambiente e garantindo os múltiplos usos da água. Para tanto, é necessário a adoção de medidas de controle, que indiquem a real necessidade dos cultivos e promovam a redução de perdas. O manejo de irrigação pode ser realizado através do monitoramento do solo, planta ou clima, ou ainda, através da associação desses métodos. O uso de sensores tem crescido nos últimos anos, com o desenvolvimento de sensores mais baratos e de maior precisão, porém essa metodologia tem a desvantagem da mensuração pontual da umidade, estando sujeito às variações do solo e da aplicação de água. O manejo da irrigação via planta tem apresentado bons resultados em pesquisas, porém o alto custo dos equipamentos, a complexidade e a dificuldade operacional restringem sua utilização pelos produtores. Assim, o método climático vem sendo o mais utilizado atualmente, devido ao menor custo e maior operacionalidade. Dentre as opções disponíveis no mercado, a Irriger vem se destacando há mais de 15 anos no mercado nacional, oferecendo um sistema profissional de manejo da irrigação, com filosofia de trabalho assistido. A empresa possui um sistema online muito preciso e operacional, aliado com uma equipe especializada, que leva orientações técnicas aos produtores. Dessa forma, possibilita a otimização do uso de água e energia e o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, e conseqüentemente, maior rentabilidade aos irrigantes.

31.1 Introdução

Os investimentos em ciência, tecnologia e inovação transformaram o Brasil, um importador líquido de alimentos até a década de 70, em um dos maiores exportadores de alimentos, fibras e bioenergia do mundo. Dentre os avanços tecnológicos que possibilitaram essa transformação, podemos citar o melhoramento genético, a mecanização, a correção do solo, o uso de defensivos, a adoção do sistema de plantio direto, o sensoriamento remoto e a irrigação.

O Brasil produziu 257,8 milhões de toneladas de grãos na safra 2019-2020 em uma área de aproximadamente 66 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020).

Essa produção é suficiente para suprir mais de 1 bilhão de habitantes, considerando estimativas da FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação) e da OMS (Organização Mundial da Saúde), de que o ser humano necessita consumir cerca de 250 kg de grãos por ano (MIRANDA, 2021).

Até a década de setenta, a produção brasileira de grãos era quase que totalmente proveniente de cultivos em condições de sequeiro, havendo forte concentração dos plantios nas regiões Sul e Sudeste. O uso da irrigação era significativo apenas na cultura do arroz, cultivado principalmente nas terras baixas do Rio Grande do Sul, através do método de irrigação superficial (BERNARDO *et al.*, 2019).

O crescimento da irrigação se deu a partir dos anos 80, mediante os programas de incentivo à irrigação no Cerrado, que possibilitaram a produção de grãos e hortaliças nessa nova fronteira agrícola, juntamente com as outras inovações do período. O Cerrado se distingue das tradicionais regiões produtoras de grãos da época, dentre outros fatores, pela grande concentração de chuvas no período de novembro a março, e ainda pelos frequentes períodos de estiagem durante o período chuvoso. Dessa forma, a irrigação foi fundamental para a expansão da agricultura nessa nova fronteira, possibilitando a produção de grãos e hortaliças em sucessão e rotação com outras culturas (RESENDE; ALBUQUERQUE, 2002).

Técnica relativamente recente no Brasil, a irrigação já era utilizada a mais de 4.000 anos na produção de alimentos, e é empregada em cerca de 20% da área produtiva no globo, contribuindo com mais de 40% do total produzido.

De acordo com a ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2012), a população mundial, em 2050, será superior a 9,5 bilhões de pessoas. Esse crescimento deverá ser maior nos países em desenvolvimento, onde vem crescendo aceleradamente o número médio de filhos. Além do crescimento populacional, a ONU destaca que a urbanização e o crescimento de renda também irão contribuir para uma maior demanda de alimentos

Enquanto isso, estudos da Food and Agriculture Organization (2013), apontam a concentração da disponibilidade de áreas agrícolas na América Latina e Savana Africana. Grandes produtores no cenário atual, países como China e EUA não possuem novas áreas para a expansão agrícola. Além disso, o aquecimento global poderá afetar negativamente a produtividade em todo o globo, com danos mais severos nas regiões tropicais. O Brasil também será afetado, embora em nível menos preocupantes do que na África subsaariana e no sul da Ásia (ABRAMOVAY, 2010).

Diante das restrições climáticas e de terras para expansão da Agropecuária, é cada vez mais necessário o uso de tecnologias que permitem aumentar a produção na mesma área atual. Nesse contexto, a irrigação possui papel cada vez mais importante, uma vez que contribui para o aumento da produtividade e da estabilidade da oferta de alimentos, reduzindo o risco de insegurança alimentar da população.

Além de elevar produtividade, a irrigação reduz riscos de perdas e aumenta a rentabilidade do agricultor, contribuindo com a geração de empregos, diminuído o êxodo rural e promovendo o desenvolvimento da região.

A água é considerada um elemento de extrema importância para os ecossistemas e para a humanidade, sendo, um dos principais recursos afetados pela crescente degradação ambiental, causada principalmente pelo crescimento urbano.

Apesar da grande oferta absoluta de água, a disponibilidade espacial e temporal já preocupa em muitas regiões brasileiras. Os conflitos e os debates pelos múltiplos usuários devem acompanhar o crescimento da demanda de água pelos setores agrícola, energético e industrial, especialmente com a maior variabilidade das chuvas registradas nos últimos anos.

O “uso da água” e a “produção de alimentos” são dois temas que merecem forte atenção e pesquisas, já que ambos são indispensáveis à vida. Diante da crescente demanda de alimentos e da escassez de água em diversas regiões do planeta, é natural que haja diferentes opiniões sobre a utilização de água na agricultura irrigada.

A agricultura é fundamental para a economia do país e para alimentar o mundo, e por sua vez, a irrigação possui papel fundamental nesse contexto. Entretanto, o agricultor precisa escolher criteriosamente o sistema de irrigação mais adequado e a melhor forma de manejá-los, de forma a obter sucesso na produtividade e viabilidade do seu cultivo.

Embora a agricultura irrigada tenha avançado tecnologicamente nas últimas décadas, a irrigação ainda é realizada em muitas áreas de forma inadequada, e com isto potencial de desperdício de água (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2016; MAROUELLI *et al.*, 2011). Estudos do uso de água pelos diversos setores do país (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020) indicam que o setor da irrigação retira 50% da água dos mananciais e o consumo, uma vez analisado os retornos dos diversos setores, representa 66,1%.

Para Mantovani, Bernardo e Palaretti (2006), essa baixa eficiência decorre de três fatores principais: (i) baixa utilização de critérios técnicos de manejo hídrico na maioria das áreas irrigadas; (ii) escassez de informações locais para manejo de água; e (iii) utilização de sistemas de irrigação com baixa eficiência de aplicação.

Estima-se que, atualmente, mais de 80% dos produtores ainda não realizam o manejo da irrigação, e muitos não sabem quanto de água aplicam e qual o custo operacional da irrigação.

31.2 Manejo de irrigação

A utilização eficiente de água na agricultura irrigada é de vital importância, tanto para garantir a viabilidade e a obtenção de altas produtividades e qualidade dos produtos, como também para que o uso desse recurso fundamental seja realizado de forma adequada e sustentável, preservando o meio ambiente e garantindo os múltiplos usos da água. Para tanto, é necessário a adoção de medidas de controle, que indiquem a real necessidade dos cultivos e promovam a redução de perdas.

Segundo Paz, Teodoro e Mendonça (2000), o uso eficiente da água engloba as medidas que promovam a redução da quantidade de água utilizada por unidade de qualquer atividade, e que favoreçam a manutenção e a melhoria da qualidade da água. Para tanto, o planejamento é indispensável para harmonizar os vários usos da água, viabilizando os diferentes setores produtivos da sociedade.

O manejo da irrigação consiste, entre outras atividades, na determinação do momento e da quantidade de água a ser aplicada e, segundo Bonomo *et al.* (2013), é peça chave para o aumento da produtividade e qualidade do produto, com foco também para a economia de água e energia.

Resende e Albuquerque (2002) consideram que a falta de manejo adequado tem sido causa de insucesso em muitos projetos de irrigação. O *deficit* de água afeta negativamente a produção e a qualidade do produto, enquanto a irrigação excessiva contribui com a lixiviação de nutrientes e agroquímicos, além do próprio desperdício de água e energia. A salinização do solo é outra consequência possível do uso inadequado da irrigação, especialmente em regiões áridas e semiáridas.

De acordo com Marouelli, Silva e Silva (2012), pesquisador da Embrapa Hortaliças (Brasília-DF), ao adotar alguma técnica para manejo da irrigação, o produtor consegue aumentar sua produtividade em cerca de 10 a 30%.

Bernardo *et al.* (2019) consideram a uniformidade da irrigação um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação, possuindo impacto no rendimento das culturas. O autor cita a importância da melhoria na uniformidade de aplicação, a qual está associada a um aumento nos custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas.

Keller e Bliesner (1990) dividem o conceito de eficiência em dois aspectos básicos, a uniformidade de distribuição e a ocorrência de perdas operacionais (vazamentos, deriva pelo vento e evaporação). Para obtenção de altos valores de eficiência, devem-se reduzir as perdas e maximizar a uniformidade de aplicação.

O diagnóstico completo dos equipamentos visa a identificação das causas da baixa uniformidade de aplicação, para posterior correção. Entre os principais problemas encontrados no campo, destacam-se: (i) baixa pressão: pode ocorrer em função de erro de projeto, ou a partir do desgaste natural dos reguladores de pressão, desgaste dos rotores e outras peças da bomba hidráulica, do aumento da perda de carga na tubulação, ocorrência de vazamento em outros. A despressurização irá afetar a uniformidade, causando a redução da lâmina na extremidade dos pivôs, principalmente nas partes mais altas do terreno; (ii) falta de manutenção no bombeamento; (iii) erros do posicionamento dos emissores: É bastante comum se encontrar, e na maioria das vezes ocorre por desconhecimento do operador, que ao repor algum emissor caído, não observa a sequência prevista em projeto; (iv) ocorrência de vazamentos: É bastante comum em pivôs, especialmente em tubos velhos ou nas vedações de ligações; e (v) entupimento de emissores: muito comum na irrigação localizada, os vazamentos também ocorrem em pivôs, principalmente em função da captação de folhas e outras partículas presentes na captação.

A avaliação dos equipamentos pode ser feita através da coleta da água aplicada ao longo do equipamento (amostragem), ou através de um diagnóstico envolvendo desde a avaliação visual para identificação de vazamentos e problemas nos emissores (posicionamento e estado de conservação), avaliação detalhada do conjunto motobomba e medições de pressão em diferentes pontos do sistema (bombeamento, centro e extremidade).

O sensoriamento remoto vem se consolidando como uma importante ferramenta para o setor agropecuário, alinhado à proposta da agricultura de precisão. Equipados com sensores multiespectrais, os satélites captam imagens invisíveis ao olho humano, através de medições da refletância da luz pelas plantações. Equações matemáticas podem transformar essas medições em índices de vegetação, por exemplo o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), que permitem mensurar produtividade e identificar importantes alterações no vigor vegetativo da cultura, as quais podem estar relacionadas à deficiências nutricionais, ataque de pragas, doenças e estresse hídrico resultante de falhas na irrigação (ROSENDO; SANTOS, 2005; CRUZ, 2017).

Na Figura 1, apresenta-se duas imagens de uma mesma área, em momentos distintos. Ambas receberam tratamento NDVI, sendo que na imagem da esquerda é possível identificar manchas circulares (anéis), que foram causados por falha no sistema de irrigação, sendo constatado erro na distribuição dos emissores em campo, em visita realizada após visualização dessa imagem. Esse erro fez com que ocorresse a aplicação de uma lâmina menor nessa área onde aparecem a faixa, reduzindo o vigor do cultivo. A imagem da direita foi obtida no plantio posterior à adequação do pivô, evidenciando a alta uniformidade de aplicação do equipamento após o seu redimensionamento.

Um estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais (COMPANHIA DE ENERGIA DE MINAS GERAIS, 1993), apontou que através do uso racional poderia-se economizar aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumidas na irrigação. Somente o redimensionamento e otimização dos equipamentos possibilitaria a economia de 10% de energia, enquanto o corte da aplicação desnecessária de água possibilitaria a economia de 20% da energia gasta.

Nesse contexto, o uso de água na agricultura deve ser realizado de maneira criteriosa e precisa, objetivando não apenas a maximização da produtividade e da qualidade da produção, mas também o máximo de eficiência, reduzindo as perdas e excessos.

O conjunto solo-água-planta é um sistema dinâmico, em que a água armazenada no solo é absorvida pelas raízes das plantas, passando dessa para a atmosfera. Nesse contexto, o manejo de irrigação pode ser realizado através do monitoramento do solo, planta ou clima, ou ainda, através da associação desses métodos.

O termo manejo da irrigação nem sempre é entendido e utilizado dentro da sua real significância e importância, sendo utilizado apenas para descrever quando e quanto irrigar. Na sua visão completa envolve além do quando e quanto irrigar, o treinamento das pessoas envolvidas no sistema de produção irrigada, a aferição e adequação dos equipamentos de irrigação, o gerenciamento dos custos da irrigação, a definição de metas e a análise contínua dos indicadores e resultados obtidos, considerando a interação solo-clima-cultura-operação.

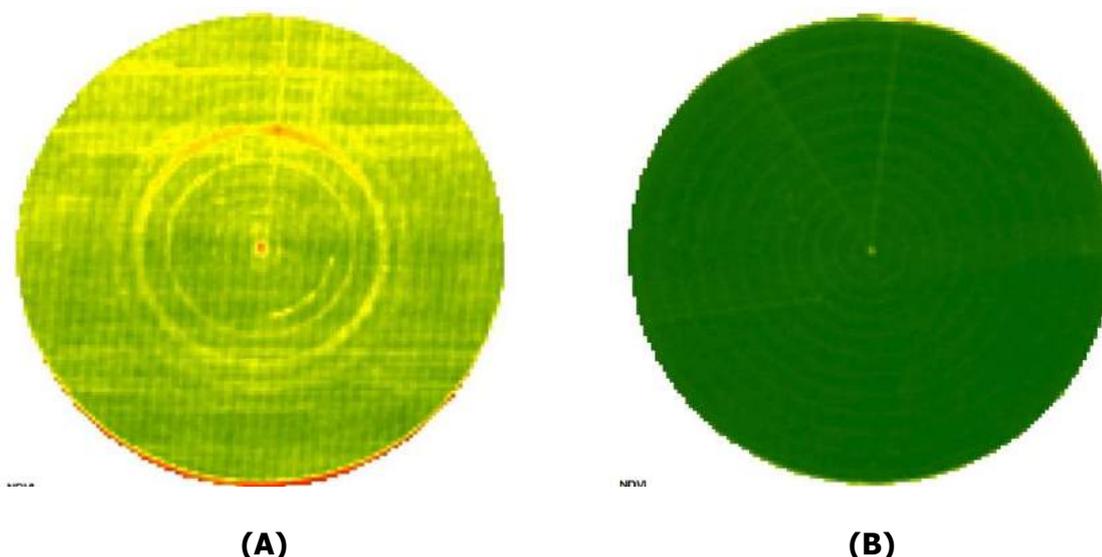


Figura 1. Imagens com tratamento NDVI apontando manchas circulares na cultura, devido à desuniformidade na distribuição da lâmina de irrigação (A), e cultura uniforme após a adequação do sistema (B).

Assim, o manejo da irrigação, na sua visão ampla, é eficaz por atuar nos principais entraves das áreas de produção irrigada, reduzindo os custos de produção da irrigação, adequando o uso dos recursos hídricos e energéticos e minimizando os impactos ambientais que a produção de alimentos gera ao nosso ambiente.

31.3 Manejo da irrigação via planta

O manejo da irrigação via planta apresenta bons resultados em pesquisas, porém são pouco utilizados pelos produtores devido ao alto custo dos equipamentos necessários, pela maior complexidade e dificuldade operacional. As possibilidades de controle incluem a medição do potencial hídrico das folhas, temperatura do dossel vegetativo, diâmetro do caule, fluxo de seiva, resistência estomática e a determinação do grau de turgescência das folhas. Ressalta-se que a maioria dos estudos foram realizados em culturas perenes, especialmente no cultivo do cafeeiro e na fruticultura (SOUZA, 2009; VENTURIN, 2016).

O potencial hídrico foliar, na antemã e ao meio-dia, é uma boa alternativa para estimativa do estresse hídrico via planta, em pomares e no café, refletindo bem a queda de umidade do solo (VENTURIN, 2016).

Souza (2009) encontrou bons resultados avaliando as variações do diâmetro de caule em plantas jovens de café, constatando que a amplitude diária máxima (ADM) permitiu a identificação de forma mais precoce, em comparação às medições isoladas do potencial hídrico foliar.

Taiz e Zeiger (2004) afirmam que o *deficit* de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, e em consequência, ocorre o aquecimento foliar, que pode atingir níveis prejudiciais ao metabolismo da planta, dependendo do *deficit*.

Trentin *et al.* (2011) constataram as variações da temperatura foliar e a transpiração da cana-de-açúcar, sob diferentes potenciais matriciais no solo.

Recentemente, várias pesquisas têm sido desenvolvidas para desenvolver a aplicação do uso do sensoriamento remoto como ferramenta para a análise e gestão dos recursos hídricos e para promoção do uso eficiente da água na produção agrícola.

Alguns algoritmos estão sendo desenvolvidos visando simplificar a obtenção de variáveis hidrológicas, entre esses o SAFER ("*Simple algorithm model for evapotranspiration retrieving*") (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Contudo, a dificuldade de obtenção de imagens frequentes e a escassez de resultados ainda dificultam a utilização do sensoriamento como alternativa para o manejo diário da irrigação. Outra dificuldade advém da necessidade em correlacionar o *deficit* hídrico das plantas com a lâmina de irrigação necessária para a irrigação, de forma prática e operacional.

31.4 Manejo da irrigação via solo

O solo é um sistema trifásico, composto por partículas sólidas, líquidas e gasosas, e funciona como um reservatório de água para as plantas (BERNARDO *et al.*, 2019).

O manejo da irrigação via solo compreende a determinação da umidade do solo em determinado momento, que pode ser feita de forma direta ou indireta. Para a recomendação da irrigação é necessário o conhecimento da capacidade desse reservatório e qual o seu nível atual, ou seja, qual a quantidade de água armazenada no perfil do solo, e quanto falta para encher o reservatório. A lâmina a ser irrigada deve ser calculada através da diferença entre a umidade atual e a umidade que representa o limite máximo armazenado pelo solo.

Entre os métodos e equipamentos disponíveis para mensuração da umidade do solo, O método gravimétrico direto, também conhecido como "padrão de estufa" é considerado o mais preciso e definido como metodologia padrão para a calibração dos outros métodos. Para a determinação da umidade é necessário coletar amostras do solo, que representem a localização e profundidade de interesse, e secá-las em estufa a 105-110°C, por um período de 24 a 48h. A umidade é definida como sendo a relação entre a massa de água existente no solo e a massa seca das partículas sólidas (BERNARDO *et al.*, 2019).

A tensiometria é a metodologia mais difundida para o manejo da irrigação, sendo que a umidade é medida de forma indireta, a partir da medição direta da tensão com a qual a água está retida ao solo. Possuindo baixo custo e facilidade de instalação como suas principais vantagens, o tensiômetro é o equipamento mais utilizado pelos produtores.

O equipamento tradicional é constituído por uma cápsula porosa (geralmente de cerâmica), um tubo e um manômetro para leitura da tensão. Atualmente é comum substituir os manômetros por transdutores de pressão, ou seja, sensores eletrônicos que possuem maior precisão e permitem a automação para monitoramento contínuo do potencial matricial.

Uma desvantagem da metodologia está relacionada à faixa de leitura dos tensiômetro, que vai de zero até 75 kPa, pois, acima desse limite, é comum que o tensiômetro perca a escorva (vácuo), devido à mudança de estado da água (passando do estado líquido para o

gasoso). Dessa forma, o tensiômetro deve ser utilizado apenas para umidades acima dessa leitura, cobrindo em torno de 40% do volume de água disponível para solos argilosos e 70% para solos arenosos.

Para a estimativa da umidade do solo por tensiômetros, é necessária a determinação prévia da curva de retenção, também chamada de curva característica de água no solo (CCAS). A correlação entre a tensão e umidade varia com as características físicas do solo.

A umidade do solo também pode ser determinada indiretamente, realizando-se a medição da resistência elétrica do solo, utilizando eletrodos inseridos em um bloco de gesso (método de Bouyoucos) ou em outros materiais como a fibra de vidro (método de Colman). Segundo Bernardo *et al.* (2019), este último apresenta a vantagem de incluir um "termistor" para realização da correção das leituras de acordo com a temperatura da célula. Os blocos de fibra de vidro são mais suscetíveis às variações da salinidade do solo, enquanto os de gesso tem menor durabilidade e menor sensibilidade para medições em condições de maior umidade do solo.

A sonda de nêutrons é outro dispositivo que pode ser usado para medir a umidade volumétrica. O princípio da metodologia se baseia na correlação entre a quantidade de nêutrons moderados a ser medida no aparelho e a quantidade de hidrogênio presente no solo. Essa metodologia possui como principais vantagens uma boa precisão, a possibilidade de se realizar repetições no mesmo local e o fornecimento instantâneo do resultado. Como desvantagens, cita-se o alto custo dos equipamentos, a necessidade de calibração e cuidados na operação devido à utilização de elementos radiativos, a menor precisão em solos ricos em outras fontes de hidrogênio que não a água (como matéria orgânica, cloro, ferro e boro).

Ainda entre os métodos indiretos, vem crescendo a disponibilidade de sensores que se baseiam nas diferenças da constante dielétrica (K) dos componentes do solo. O valor de K da água é da ordem de 81, enquanto o ar possui valor unitário e nas partículas sólidas fica entre 3 e 5 (SOUZA *et al.*, 2006). Dentre esses, os mais utilizados são o TDR (*Time Domain Reflectometry*), ou reflectometria no domínio do tempo e FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) ou reflectometria no domínio da frequência, também conhecidos como de sondas por capacitância.

As sondas de TDR se baseiam no efeito que a umidade do solo possui sobre a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas em cabos condutores enterrados no solo.

Enquanto isso, no método FDR se mede a capacitância do solo, obtendo-se a constante dielétrica e, conseqüentemente, o teor de água. Como existem diferentes propriedades físicas do solo influenciam no seu armazenamento de água, faz-se necessário uma calibração das sondas capacitivas em função das condições específicas do local de sua instalação.

Independentemente da qualidade e precisão do dispositivo empregado para determinação da umidade do solo, essa metodologia tem a desvantagem da mensuração pontual, estando sujeito às variações do solo e da aplicação de água. Qualquer problema de uniformidade da irrigação, por exemplo, terá efeito direto na determinação da umidade, e conseqüentemente irá prejudicar a recomendação da lâmina de irrigação.

Outro fator importante é a escolha criteriosa do local de instalação do instrumento a ser utilizado na medição ou estimativa da umidade do solo. A regra geral é instalar na faixa de maior concentração do sistema radicular, sendo que para grãos e outras culturas anuais, recomenda-se adotar a distância de 10 a 20 cm das plantas.

31.5 Manejo da irrigação via clima (balanço hídrico)

O método climático é, sem dúvidas, o mais utilizado atualmente, possuindo menor custo e simplicidade. Rodrigues *et al.* (1997) citam a operacionalidade, como fator principal para a maior utilização dos métodos que se baseiam na evapotranspiração para estimar o consumo de água pelas culturas. O termo evapotranspiração pode ser entendido como a soma da evaporação da água pela superfície de solo mais a transpiração das plantas.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), em torno de 97% da água absorvida pelas raízes é transportada pela planta, e após a transpiração é evaporada pelas superfícies foliares, enquanto cerca de 2% apenas, permanece na planta para suprir o crescimento e 1% é consumida nas reações bioquímicas da fotossíntese e demais processos metabólicos. Considerando que a evapotranspiração constitui a maior parte da água requerida pela cultura, o volume de água a ser suprida pela irrigação pode ser calculado através da sua mensuração.

Bernardo *et al.* (2019) ressaltam que o processo de evapotranspiração demanda energia para possibilitar a evaporação de água e que essa energia é obtida principalmente da energia solar absorvida pelas plantas. A quantidade de água evapotranspirada depende principalmente do clima, mas também da planta e do solo.

Allen *et al.* (1998) destacam que a evapotranspiração sofre interferências da cultura, destacando a variedade, fase de desenvolvimento, densidade do plantio, altura, rugosidade do dossel, resistência estomática, refletividade e a cobertura do solo pela vegetação. Dessa forma, deve-se determinar primeiramente a evapotranspiração de referência (ET_o), e depois ajustar para cultura de interesse, utilizando-se um coeficiente de cultivo (k_c). A ET_o depende apenas das variáveis meteorológicas, sendo definida como a evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada com vegetação rasteira, em crescimento ativo e sem restrição hídrica. Os autores elegem o método de estimativa Penman-Montheith modificado pela FAO, como o padrão para estimativa da evapotranspiração, a qual pode ser estimada utilizando-se apenas de dados obtidos por uma estação meteorológica.

Resende e Albuquerque (2002) também apontam a praticidade da metodologia, citando a utilização de modelos computacionais como forma de simplificar o cálculo da necessidade de irrigação. Segundo os autores, deve-se realizar o balanço de água no solo, comparando-o ao balanço de uma conta bancária, onde os depósitos são representados pelas chuvas e irrigações, enquanto a evapotranspiração simboliza as retiradas diárias.

Para determinação da capacidade de retenção de água dos solos é fundamental entender os conceitos de capacidade de campo e ponto de murcha a seguir descritos (BERNARDO *et al.*, 2019). A capacidade de campo (CC) representa a umidade máxima do solo, a partir do qual a água é facilmente perdida pela ação da gravidade, e pode ser determinada em laboratório ou métodos de campo. O ponto de murcha é o limite mínimo, ou seja, a umidade abaixo da qual as plantas não podem mais absorver água do solo.

A disponibilidade de água do solo é uma característica do mesmo, sendo comumente chamada de DTA (Disponibilidade Total de Água), e corresponde à quantidade de água armazenada, considerando o intervalo entre as umidades correspondentes à "CC" (capacidade de campo) e ao "PMP" (ponto de murcha). Pressupõe-se que a água abaixo da umidade do ponto de murcha está indisponível para as plantas, por estar fortemente retida ao solo. Da mesma forma, não se considera a absorção de água em umidade acima da capacidade de campo, pois essa seria rapidamente perdida por ação da gravidade.

A "Disponibilidade Real de Água" (DRA) representa uma parcela da DTA, em que a umidade do solo está facilmente disponível, de forma que as plantas consigam absorver a água do solo sem necessidade de gastar muita energia, e assim não afetar significativamente sua produtividade. A relação DRA/DTA é conhecida como fator de disponibilidade de água no solo (fator "f"), e varia de acordo com as características do cultivo e suas fases de

desenvolvimento. Esse fator varia entre 0,2 e 0,8, sendo os valores menores recomendados para culturas mais sensíveis ao *deficit* hídrico, e os maiores para as culturas mais resistentes. Para uma mesma cultura, é comum usar valores menores nas fases mais exigentes por umidade, como a germinação e o florescimento e enchimento de grãos.

A determinação do volume do reservatório inclui também a profundidade efetiva do sistema radicular (Z), que corresponde à faixa do solo onde se encontram cerca de 80% das raízes absorventes. A distribuição das raízes depende das características da cultura, mas é fortemente influenciada pelas características do solo, como compactação, fertilidade e acidez, e pela oscilação da umidade no perfil do solo.

A capacidade total de água do solo (CTA) é o produto da "DTA x Z ", representando a quantidade total de água armazenada pelo solo, na zona radicular da cultura. Enquanto a capacidade real de água do solo (CRA) é o produto da "DRA x Z ", e pode ser entendida como a quantidade de água armazenada pelo solo e que está disponível para a cultura, sendo expressa em mm.

O manejo da irrigação via clima compreende, portanto, a caracterização físico-hídrica do solo, as informações agronômicas do cultivo e a medição diária dos dados climáticos, necessitando de uma série de cálculos para a realização do balanço hídrico e consequentemente, para que se possa determinar a necessidade de irrigação. Devido ao grande número de variáveis, é comum o uso de planilhas e, recentemente, aplicativos desenvolvidos para transformar a complexidade dos dados em recomendações simples e precisas.

31.6 Manejo profissional de irrigação

Observa-se nos últimos anos um avanço significativo no manejo profissional da irrigação no Brasil que inclusive tem sido exportado para diversos países do mundo. Diversas empresas apresentam ao mercado possibilidades reais de otimização do uso da água na agricultura irrigada que tem trazido sustentabilidade ambiental e econômica ao setor. Em recente evento *on line* do Inovagri (RODRIGUES, 2020), as principais empresas apresentaram sua tecnologia e debateram as demandas e o futuro do setor.

Dentre as empresas citadas anteriormente, destaca a Irriger, empresa de base tecnológica que deste 2005 vem promovendo, não só o manejo tecnificados da agricultura irrigada em extensa área, como também foi indutora de mudança no paradigma que este processo de manejo era possível em condições de campo como foi a base de criação de inúmeras outras empresas a partir do seu modelo de trabalho.

Assim, a Irriger vem se destacando há mais de 15 anos no mercado nacional, oferecendo um sistema profissional de manejo da irrigação, com filosofia de trabalho assistido. A empresa possui um sistema online muito preciso e operacional, aliado com uma equipe especializada que leva orientações técnicas aos produtores. Dessa forma, possibilita a otimização do uso de água e energia e o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, e consequentemente, maior rentabilidade aos irrigantes.

A plataforma Irriger Connect apresenta recursos tecnológicos que permitem o manejo e a melhor decisão de irrigação integrando modelos matemáticos, sensores e imagens de satélite, com pronta e simples visualização das informações em tempo real em computadores e smartphones. A equipe da Irriger provê a assistência técnica necessária e o devido acompanhamento de campo e treinamento da equipa da fazenda de modo a garantir o êxito do uso da tecnologia disponibilizada (IRRIGER, 2021). No Brasil, a metodologia usada pela Irriger tem como princípio básico o balanço hídrico climático, associado com o balanço de água no solo, integrando o uso do sensoriamento remoto, além de visitas técnicas para checagem do desenvolvimento da lavoura e análises complementares.

Devemos destacar que a decisão de quanto e quando irrigar, não é puramente matemática, devendo considerar vários fatores, como os aspectos fitossanitários e a realização dos tratamentos culturais, além da capacidade de aplicação dos equipamentos e da disponibilidade de água e energia.

Não é incomum haver limitação por parte dos equipamentos, especialmente quando ocorre o compartilhamento de um mesmo bombeamento por um ou mais pivôs (sistema conjugado), de forma que a autonomia de aplicação dos equipamentos seja inferior à demanda hídrica daquele momento. A limitação da disponibilidade de energia também tem ocorrido com relativa frequência em muitas regiões, e muitas vezes não é possível acionar todos os equipamentos ao mesmo tempo, sendo necessário a realização de um rodízio. Da mesma forma, pode haver limitação da água outorgada, ou mesmo por indisponibilidade em determinados períodos do ano.

A decisão da irrigação pode e deve considerar a ocorrência de pragas e doenças, pois esses podem interferir na demanda de água pela cultura, e por outro lado, o controle da umidade do solo e a redução do molhamento foliar podem ser grandes aliados ao combate, sobretudo das doenças fúngicas e bacterianas.

O manejo profissional da irrigação busca conciliar todos esses fatores, e ainda gerar um histórico de informações de cada talhão monitorado, incluindo os dados de chuva, irrigação, clima, eficiência, níveis de *deficit*, produtividade, custos e outros indicadores que irão possibilitar a tomada de decisões cada vez mais assertivas.

Os benefícios do gerenciamento da irrigação podem ser medidos pelo aumento da rentabilidade da fazenda, redução do custo da irrigação, uso eficiente da água e energia, aumento da produtividade, melhora vida útil do equipamento, melhor controle fitossanitário, maior eficiência nos tratamentos fitossanitários, otimização do uso de fertilizantes, além da preservação ambiental.

31.7 Análise das principais culturas irrigadas

31.7.1 Feijão

O feijão é um dos alimentos mais importantes da dieta brasileira, constituindo uma das principais fontes de proteína da população. Junto com o arroz, formam o prato principal do nosso dia a dia. No Nordeste a dupla é a base do baião de dois, enquanto em São Paulo constituem o virado à paulista. Temos ainda o acarajé baiano, a tradicional feijoada carioca e em Minas, o tropeiro e o tutu à mineira.

O Brasil é o terceiro maior produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com produção estimada em 3,2 milhões de toneladas no ano agrícola 2019/2020, cultivados em quase 3 milhões de hectares. Paraná e Minas Gerais são os dois maiores estados produtores (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020).

O feijoeiro é considerado uma cultura de ciclo curto, possuindo três épocas distintas de plantio, o que favorece a oferta constante do produto ao longo do ano. Dessa forma, tem-se o feijão de primeira safra (feijão das águas), semeado entre agosto e dezembro, o de segunda safra (safrinha), cultivado entre janeiro e abril) e o de terceira safra (feijão irrigado, ou de inverno), semeado entre abril e julho.

A rentabilidade atrativa e o rápido retorno econômico em função do ciclo curto, fazem do feijão de inverno, uma das culturas mais cultivadas no Cerrado, em regime de irrigação por pivô central. O clima favorável e o uso da irrigação, juntamente com a adubação adequada e um bom manejo fitossanitário, possibilitam níveis de produtividade acima de 3.000 kg ha⁻¹, cerca de 3 vezes a média brasileira (AZEVEDO *et al.*, 2008).

Considerado uma cultura bastante suscetível às condições climáticas, o feijoeiro tem seu desenvolvimento e produtividade afetados principalmente pela temperatura e distribuição pluviométrica. Da mesma forma que a falta de água reduz a produtividade, o excesso hídrico também provoca perdas, favorecendo o apodrecimento do sistema radicular e a ocorrência de doenças fúngicas e bacterianas. O excesso de chuvas no período de maturação pode ser ainda mais danoso, ocasionando o atraso da colheita, e se mantido por longos períodos, pode provocar a germinação do grão no interior da vagem e também o apodrecimento dos grãos, reduzindo a sua produtividade e o valor de mercado.

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), o requerimento de água para a máxima produção varia entre 300 e 500 mm, dependendo do clima. Os autores observaram que um *deficit* hídrico de 50% provocou 10% de redução na produtividade, quando na fase vegetativa. Esse mesmo *deficit* ocasionou redução de 55% e 38%, quando na floração e no enchimento de grãos, respectivamente.

Para Silveira e Stone (2001), as ocorrências de *deficit* hídrico durante a floração são mais prejudiciais à produtividade do feijoeiro, e sua magnitude irá depender da intensidade e duração do período de *deficit*.

Áreas irrigadas com histórico de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) sofrem mais com os prejuízos causados pela doença, devido a severidade da mesma e a dificuldade de controle (BARBOSA; GONZAGA, 2012). De acordo com Paula Júnior *et al.* (2006), é importante a adoção de estratégias de controle de forma integrada, de forma a manter baixos níveis de inóculos e o convívio com a doença no campo. O manejo da irrigação deve ser realizado visando a redução das condições ideais para o desenvolvimento do patógeno. Os autores recomendam o uso de irrigações mais pesadas e menos frequentes, com o intuito de reduzir o molhamento das plantas e a umidade superficial do solo.

Schwartz *et al.* (2012) também citam a importância da estratégia de irrigação como ferramenta para redução da infecção de mofo branco, citando que o solo úmido favorece o desenvolvimento da doença. Para os autores, a irrigação deve ser eficiente e bem manejada, visando manter a superfície do solo seca a maior parte do tempo, especialmente nos estádios de enchimento e maturação das vagens.

Muitos autores avaliaram o uso de tensiômetros no manejo da irrigação do feijoeiro e encontraram resultados similares, recomendando o acionamento da irrigação quando se atingir entre 35 e 40 kPa de tensão. Para esses autores, o potencial mátrico para acionamento da irrigação deve ser 35 kPa (SILVEIRA; STONE, 1994), 37 kPa (FIGUEIREDO *et al.*, 2008) ou 39 kPa (FREITAS *et al.*, 2012).

A Irriger possui mais de 15 anos de experiência no manejo da irrigação do feijoeiro, utilizando principalmente a metodologia do balanço hídrico para auxiliar os produtores a obterem altas produtividades com racionalização do uso de água e energia.

O consumo hídrico tem variado entre 250 e 500 mm de água durante o ciclo, de acordo com a região, época de semeadura, e cultivar escolhido. Com ciclo entre 60 e 120 dias, algumas áreas chegam a produzir mais de 80 sacas por hectare, sendo comum produtividades entre 50 e 70 sacas ha⁻¹.

A Figura 2 ilustra o resultado de um balanço hídrico em uma área com excepcional produtividade de 82 sacas por hectare. Foram aplicados apenas 224,97 mm de irrigação, tendo ainda ocorrido 177 mm de precipitação pluviométrica.

A evapotranspiração potencial (ETp ou ETc max), que indica o consumo máximo de água pela cultura, totalizou 290,77 mm, enquanto a evapotranspiração real (ETc) que representa o consumo real no campo foi de 256,94 mm. Essa diferença estimada através do modelo matemático visa representar a redução real em campo, ou estresse controlado, sendo

uma resposta fisiológica da cultura, à medida que se reduz a umidade do solo sem afetar a produtividade.

O denominado Índice de Estresse que caracteriza essa redução da evapotranspiração, correlaciona esse indicador com o resultado produtivo de milhares de parcelas monitoradas, permitindo identificar que as maiores produtividades foram obtidas com índices de até 13%, para ao cumulado do ciclo (SANTOS, 2017; IRRIGER, 2021).

Um ponto que merece destaque nesse estudo de caso, é a estratégia de suspensão da irrigação após o desenvolvimento do primeiro trifólio. Essa estratégia é benéfica ao estimular um maior enraizamento das plantas, que assim poderão buscar água e nutrientes nas camadas mais profundas.

Na Figura 2 apresenta-se a evolução da umidade do solo em uma parcela irrigada por pivô central, indicando os valores de valores de irrigação e chuva, dentro dos limites de CC, f e PMP, cuja produtividade foi de 82 sacas ha⁻¹.



Figura 2. Evolução da umidade do solo estimada pelo software Irriger Connect na cultura do feijão com os valores de irrigação e chuva, dentro dos limites de CC, f e PMP.

Além disso, a redução da umidade auxilia no controle integrado das podridões radiculares (*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*) e do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), já que a alta umidade favorece o desenvolvimento desses fungos.

Nessa área, a irrigação foi suspensa durante 20 dias, tendo ocorrido apenas 6 mm de chuva nesse intervalo. Ressalta-se, porém, que não há uma receita pronta em relação ao número de dias para suspensão das irrigações, pois esse período irá variar de acordo com o clima, solo, variedade entre outros fatores. Por isso, é importante acompanhar a redução da umidade e seus efeitos na cultura.

31.7.2 Milho

A cultura do milho é uma das mais antigas e importantes do mundo, sendo utilizado na alimentação animal, alimentação humana, produção de álcool e como matéria prima para diversas industriais (indústria de bebidas, alimentícia, cosmética e farmacêutica).

O Brasil produziu mais de 103 milhões de toneladas no último ano agrícola, sendo o terceiro maior produtor e exportador mundial do grão. Estados Unidos são o maior produtor, seguido pela China. Juntos, esses três países produziram mais de 60% do total de aproximadamente 1,1 bilhões de toneladas colhidos em 2020 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2021).

Com a valorização do milho no mercado internacional, tem se aumentado a área plantada com milho no Brasil, especialmente o cultivo em sucessão soja-milho, sendo o milho a cultura de segunda safra. O milho é o segundo grão mais produzido no agronegócio brasileiro, ficando atrás justamente da produção de soja.

Os híbridos atuais têm potencial para produzir cerca de 18 t/ha em condições irrigadas, entretanto, a produtividade média brasileira não chega nem a metade desse valor, em função das limitações ambientais e de manejo. Modelos matemáticos indicam que o estresse hídrico representa 57% da redução de produtividade obtidas em condições de sequeiro, enquanto o manejo cultural responde pelos demais 43% da redução em relação ao potencial produtivo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

Quando submetida ao *deficit* hídrico, ocorre o fechamento dos estômatos das plantas e o aumento da temperatura da folha, afetando a respiração e a fotossíntese. Consequentemente haverá maior consumo de reservas, reduzindo o desenvolvimento das plantas e a sua produção de matéria seca (MUTAVA *et al.*, 2011).

Diversos estudos apontam os ganhos produtivos com uso da irrigação no cultivo do milho, e indicam que o *deficit* hídrico possui maior impactos desde a fase de prefloração até o início do enchimento de grãos.

De acordo com Doorenbos e Kassan (1994), efeito do *deficit* hídrico na produtividade do milho depende da intensidade, duração e do estágio fenológico de sua ocorrência. Segundo esses autores, o milho é relativamente tolerante à ocorrência de deficits hídricos nos períodos vegetativos e de maturação.

O milho é uma cultura relativamente sensível ao *deficit* hídrico, sobretudo se ele ocorre no período crítico de prefloração e floração (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

Segundo Bergamaschi *et al.* (2006), a maior redução na produção se dá quando o *deficit* hídrico ocorre na polinização, formação do zigoto e desenvolvimento inicial do grão. Os autores afirmam que a produtividade se mantém estável quando se repõe pelo menos 70% da demanda hídrica da cultura. A ocorrência de *deficit* hídrico superior a esse patamar, explica quase 80% das perdas na produção de grãos.

Nascimento *et al.* (2016) relatam incrementos de produção na ordem de 30 a 40%, em relação ao cultivo de sequeiro, para a semeadura de segunda safra. O autor afirma que o milho é uma das culturas mais eficientes no uso da água, com alta relação de produção de matéria seca por unidade de água absorvida.

Nos últimos 15 anos a Irriger já gerenciou a irrigação em mais de um milhão de hectares de milho, e os resultados obtidos estão em linha com os citados acima. Ao se cruzar os valores de produtividade com o índice de stress registrado em cada parcela monitorada, observa-se que as maiores produtividades foram obtidas com índice de estresse inferiores à 12%, ou em outras palavras, quando se atendeu pelo menos 88% da demanda evapotranspirométrica da cultura (SANTOS, 2017).

31.7.3 Milho para produção de semente

O uso da irrigação é economicamente viável para a maioria dos cultivos, e sua importância é ainda maior para culturas de maior valor econômico, como é o caso das

hortaliças e também da produção de milho semente. Com a irrigação, esses cultivos podem ser deslocados das tradicionais regiões mais úmidas para as regiões mais secas, e serem produzidos fora do período chuvoso, resultando na redução de problemas fitossanitários e em ganhos de qualidade e produtividade.

A produção de semente de milho híbrido ocorre em campos especiais de cruzamentos, seguindo protocolos distintos do milho comum, inclusive pelo plantio de linhas de plantas masculinas e femininas.

A ocorrência de estresse hídrico pode retardar o florescimento feminino, devido ao maior tempo de formação do estilo-estigma. Esse atraso causar um descompasso entre o desenvolvimento das plantas masculinas e femininas, prejudicando a polinização e, conseqüentemente, a produção de sementes. Para que ocorra a fecundação, o pólen precisa estar hidratado, portanto o estresse hídrico nesse período impacta diretamente o número de grãos por espiga e a produtividade final. Por outro lado, o excesso de água (chuva ou irrigação) pode causar a "lavagem" do pólen, também ocasionando problemas de polinização, conhecidos como chupeta, quando a parte superior da espiga não apresenta grãos. Quando a cultura chega no final do ciclo, é recomendado evitar o excesso de irrigação, pois pode favorecer a ocorrência de doenças fúngicas (IRRIGER, 2021; MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

As necessidades hídricas do milho (para produção de semente) são geralmente menores do que observados no milho comum, entretanto as plantas são mais sensíveis ao *deficit*, sendo requeridas irrigações mais frequentes nos campos de produção de sementes.

Os resultados do gerenciamento de irrigação em 10 anos de acompanhamento de campos de semente, em mais de 700 mil hectares de produção de sementes, em diversos municípios das regiões Sudeste e Centro-Oeste, mostram que os plantios realizados entre junho e agosto requerem um maior volume de irrigação. Isso ocorre porque, além da baixa pluviometria do período, há a coincidência entre a fase de maior exigência hídrica por parte da cultura com o período de maior demanda climática. Nos anos críticos, como em 2020, temos registrado picos de consumo hídrico superior a 8 mm dia⁻¹.

Para os plantios desse período, é fundamental que se faça uma criteriosa seleção de áreas aptas aos plantios, buscando equipamentos com maior autonomia e alta uniformidade de aplicação, além de se avaliar a capacidade de abastecimento das captações.

Para os plantios realizados a partir de setembro, é comum haver boa contribuição das chuvas, especialmente na fase reprodutiva. Entretanto, o atraso no início do período chuvoso ou a ocorrência de veranicos pode comprometer o suprimento do *deficit*, nesse que é o período mais quente do ano.

O estudo permite concluir ainda, que, as menores lâminas requeridas são para os plantios de início do ano, entre janeiro e maio. Os plantios de janeiro e fevereiro ainda recebem boa contribuição de chuva na maior parte do ciclo. Enquanto os plantios realizados entre março e maio possuem uma menor exigência hídrica, devido a fase reprodutiva ocorrer no período de clima mais ameno.

31.7.4 Soja

O Brasil é o maior produtor e exportador de soja, tendo produzido cerca de 133 milhões de toneladas do grão na atual safra 2020/21, em uma área de pouco mais de 38 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2021).

O requerimento hídrico da soja situa entre 450 e 800 mm, de acordo com a variedade, região e condições climáticas. A disponibilidade de água é uma das principais causas de redução da produtividade, especialmente se ocorrida nos períodos de germinação, floração e enchimento de grãos. Nesse período, o *deficit* hídrico pode causar o abortamento de flores e

a redução do número de vagens por planta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011).

Embora o cultivo da soja ocorra basicamente no período chuvoso, o uso de irrigação tem possibilitado grandes incrementos de produtividade, reduzindo as perdas em função da má distribuição das chuvas, sendo cada vez mais comum a ocorrência de períodos prolongados de estiagem no Brasil.

O manejo da irrigação recomendado pela Irriger visa a manutenção da umidade em condições adequadas, garantindo que a evapotranspiração real seja pelo menos 85% da evapotranspiração potencial, ou seja a diferença entre a evapotranspiração real e potencial deve ser inferior a 15%. Essa estratégia se baseia na análise dos resultados obtidos em cerca de 500 mil hectares monitorados pela empresa, em que se observou a manutenção do potencial produtivo até esse nível de redução da evapotranspiração.

A Figura 3 apresenta o resultado real de uma área de semeadura de soja irrigada no estado de São Paulo, em que se obteve alta produtividade ($102 \text{ sacas ha}^{-1}$). Durante o ciclo de 130 dias, houve um total acumulado de 833 mm de chuva, e as irrigações realizadas somaram 132 mm. A evapotranspiração real, calculada pelo software Irriger, foi de 397,88 mm, ficando cerca de 9% abaixo da evapotranspiração potencial (436,92 mm).

Observa-se que as irrigações foram planejadas para manter a umidade do solo sempre acima da umidade mínima recomendada, complementando a ocorrência de chuvas sempre que necessário.



Figura 3. Evolução da umidade do solo estimada pelo software Irriger Connect na cultura da soja com os valores de irrigação e chuva, dentro dos limites de CC, f e PMP.

Segundo Santos e Carlesso (1998), a redução da umidade na camada superficial estimula a expansão do sistema radicular das plantas, indo ao encontro de zonas de umidade nas camadas mais profundas do solo.

Com base nesse comportamento, tem se recomendado a aplicação de um *deficit* controlado no início da fase de desenvolvimento da soja, objetivando atingir um melhor desenvolvimento radicular, que possibilitará uma melhor exploração do perfil do solo no restante do ciclo. Com isso, ocorre uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta, podendo resultar em ganhos produtivos. Essa suspensão das irrigações nessa fase

inicial irá possibilitar a preparação das plantas, para eventuais deficits futuros, além de propiciar uma redução do custo de irrigação.

31.7.5 Algodão

O Brasil é o quarto maior produtor de algodão (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2021). A produção brasileira bateu o recorde histórico na safra 2019/20, com 2,93 milhões de toneladas de algodão em pluma, crescimento de 4,2% em relação ao ano anterior. A área plantada foi estimada em de 1,7 milhões de hectares, sendo que mais de 88% desse total foi cultivado nos estados de Mato Grosso e Bahia (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2021).

O algodoeiro é uma considerada uma planta resistente ao estresse hídrico, contudo seu desenvolvimento e atividades fotossintéticas são afetados quando exposto à estresse severo. As maiores perdas produtivas são observadas mediante a ocorrência de *deficit* hídrico durante a floração e formação das maçãs, havendo risco de queda das estruturas reprodutivas (AQUINO *et al.*, 2012; BEZERRA *et al.*, 2010).

Aquino *et al.* (2012) avaliaram o efeito de doses de fósforo sobre o desenvolvimento e produtividade do algodoeiro, em condições de sequeiro e irrigado. A irrigação propiciou maior número de capulhos por planta, produtividade e rendimento de fibra. O autor concluiu também que a aplicação de P somente resultou incrementos de produtividade no cultivo irrigado.

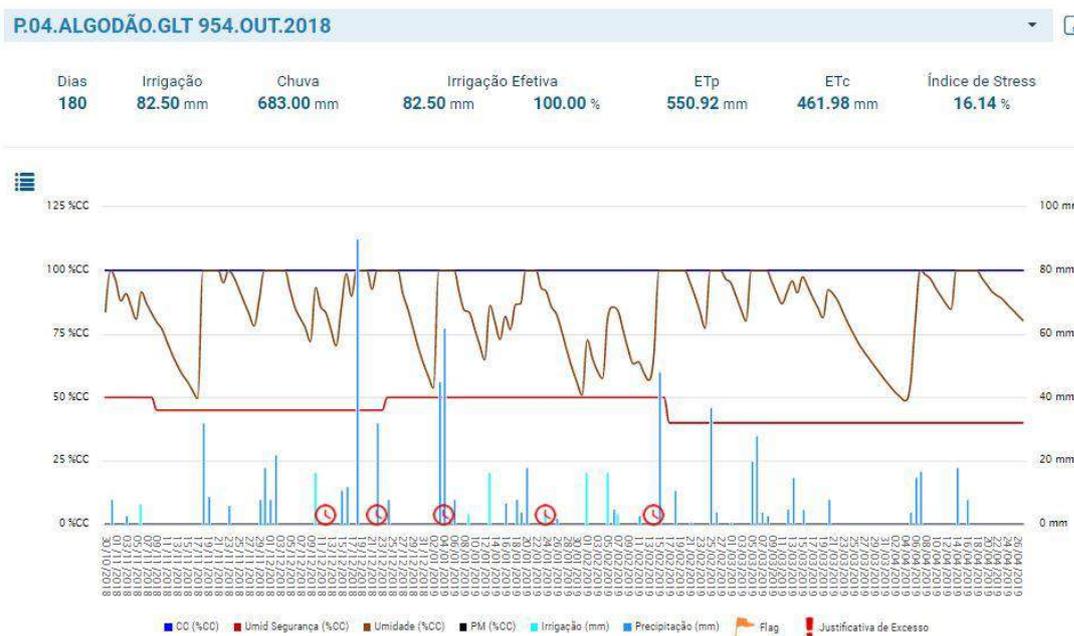


Figura 4. Evolução da umidade do solo estimada pelo software Irriger Connect na cultura do algodão com os valores de irrigação e chuva, dentro dos limites de CC, f e PMP.

Batista *et al.* (2010) analisaram o efeito do estresse hídrico sobre o crescimento do algodoeiro, e observaram redução na altura, da produtividade e da qualidade das fibras. A produtividade foi reduzida devido ao *deficit* induzir a queda de botões florais, flores e maçãs. Os autores também detectaram alongamento do sistema radicular.

Santos (2017) estudou a correlação entre a produtividade e o índice de estresse hídrico das áreas de algodão monitoradas pela Irriger, nas safras dos anos de 2005 a 2016, concluindo que as produtividades se mantêm elevadas para índices de até 20%.

Na Figura 4 a seguir apresenta-se o resultado de uma área com alta produtividade realizando-se o manejo hídrico com *deficit* controlado. O índice de estresse foi de 16,1% e a produtividade 420,5 @ ha⁻¹. Foram irrigados apenas 82,5 mm durante o ciclo, mas que certamente foram fundamentais para o resultado produtivo. Observa-se que as irrigações realizadas no início de fevereiro, durante a ocorrência de veranico, foram planejadas de modo a se evitar que a umidade do solo ultrapassasse o limite mínimo recomendado pela Irriger.

31.8 Considerações finais

A automatização dos equipamentos de irrigação já é uma realidade, praticamente todos os equipamentos vendidos atualmente permitem a automatização de suas operações e da coleta das informações de seu uso. Dessa forma, aumenta-se a eficiência operacional, reduz-se os custos de operação e os erros advindos das falhas de anotações pelos operadores.

Da mesma forma, o desenvolvimento de sensores mais precisos e baratos, com leitura automática, vem possibilitando a expansão do monitoramento da umidade do solo em tempo real, de forma integrada com aplicativos que transformam essas leituras em recomendações de irrigação.

Por fim, a grande disponibilidade de satélites e a popularização dos VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) trouxeram novas possibilidades para o monitoramento do estresse hídrico através das plantas, permitindo coleta de informações em grandes áreas, e com custo cada vez mais baixo.

Nesse cenário, tem aumentado a disponibilidade de empresas que oferecem suas soluções para o manejo de irrigação, utilizando uma ou mais soluções integradas.

Esse maior acesso às soluções, aliado à crescente pressão por resultados econômicos e pela racionalização dos recursos hídricos, culminam para o crescimento do número de irrigantes que realizam o manejo da irrigação.

Referências

- ABRAMOVAY, R. **Alimentos versus população: está ressurgindo o fantasma malthusiano? Ciência e Cultura**, v.62, n.4, p.38-42, 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. Ed. Brasília: ANA. 130p. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília: ANA. 118p. 2020.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, 56, 300p., 1998.
- AQUINO, L.A.; AQUINO, R.F.B.A.; SILVA, T.C.; SANTOS, D.F.; BERGER, P.G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.355-361, 2012.
- AZEVEDO, J.A.; SILVA, E.M.; RODRIGUES, G.C.; GOMES, A.C. **Produtividade do feijão de inverno influenciada por irrigação, densidade de plantio e adubação em solo de Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Comunicado Técnico, 145, 3p., 2008.
- BARBOSA, F.R.; GONZAGA, A.C.O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.110-114, 2012.
- BATISTA, C.H.; AQUINO L.A.; SILVA T.R.; SILVA, H.R.F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, p.197-206, 2010.

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. *Deficit* hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.243-249, 2006.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. **Manual de irrigação**. 9. Ed. Viçosa, Editora UFV, 545p. 2019.
- BEZERRA, J.R.C.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; DIAS, J.M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.625-632, 2010.
- BONOMO, D.Z.; BONOMO, R.; PARTELLI, F.L.; SOUZA, J.M.; MAGIERO, M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.7, n.2, p.157-169, 2013.
- COMPANHIA DE ENERGIA DE MINAS GERAIS. **Estudo de Otimização Energética**. Belo Horizonte, Cemig, 22p., 1993.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v.7, Safra 2019/2020, n.12, Décimo segundo levantamento, Conab, set. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v.8, Safra 2020/2021, n.5, Quinto levantamento, Conab, fev. 2021.
- CRUZ, C.C. **Dinâmica da vegetação através do índice EVI e sua relação com variáveis meteorológicas**. 35p., 2017. Dissertação (Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2017.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Yield response to water. FAO. **Irrigation and Drainage**, Paper, 33, Rome: FAO, 193p., 1979.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306p., 1994. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H.R. Gheyi, A.A. de Souza, F.A.V. Damasco, J.F. de Medeiros.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO **Irrigation and Drainage**, 24. Rome: FAO, 179p., 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, Ano 12, Edição 98, 2018. Disponível em: <http://grao.cnpms.embrapa.br/index.php?ed=NzA=>. Acesso em: 3 abr. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina, 261p., 2011. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 15)
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. Ed. Guaíba: Agropecuária, 360p., 2004.
- FIGUERÊDO, S.F.; POZZEBON, E.J.; FRIZZONE, J.A.; AZEVEDO, J.A.; GUERRA, A.F. Gerenciamento da Irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos do cerrado. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.3, p.378-391, jul./set., 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO statistical yearbook 2013 World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 307, 2013.
- FREITAS, W.A.; CARVALHOI, J.A.; BRAGAI, R.A.; ANDRADE, M.J.B. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.268-274, 2012.
- IRRIGER. Irriger connect: você no controle. 2021. Disponível em: <http://www.irriger.com.br/pt-br>. Acesso em: 3 abr. 2021.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 652p., 1990.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2006. Circular Técnica, 76. Disponível em:

https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19620/1/Circ_76.pdf. Acesso em: 3 abr. 2021.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Editora UFV, 3. Ed. 353p., 2016.

MARQUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C.; SOUSA, V.F. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V.F.; MARQUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 711p., 2011.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R.; SILVA, W.L.C. Irrigação do tomateiro para processamento. Circular Técnica 102. Embrapa Hortaliças. Brasília, março, 2012.

MIRANDA, E. Alimentar o mundo. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/artigos/alimentar-o-mundo>. Acesso em: 3 abr. 2021.

MUTAVA, R.N.; PRASAD, P.V.V.; TUINSTRA, M.R.; KOFOID, K.D.; YU, J. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, v.123, p.10-18, 2011.

NASCIMENTO, F.N., BASTOS, E.A., CARDOSO, M.J., JÚNIOR, A.S.A., RIBEIRO, V.Q. Parâmetros fisiológicos e produtividade de espigas verdes de milho sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p.167-181, 2016.

UNITED NATIONS. Department of economic and social affairs The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, ONU, 2012.

PAULA JÚNIOR, T.J.; VIEIRA, R.F.; LOBO JÚNIOR, M.; MORANDI, M.A.B.; CARNEIRO, J.E.S.; ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado do mofo-branco do feijoeiro**. Viçosa: Epamig, 48p., 2006.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.465-473, 2000.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P. Métodos e estratégias de manejo de irrigação. Circular Técnica 19. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2002.

RODRIGUES, L.N.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C. O modelo de Ritchie na determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.44, n.252, p.191-204, 1997.

RODRIGUES, S.B. Sistema Irriger de gerenciamento de irrigação. TEMA 5: Irrigando com a internet: necessidade ou modernidade? In: RODRIGUES, L.N. Agricultura Irrigada: um breve olhar. RODRIGUES, L.N.; ZACARIA, D. (Ed.). Fortaleza: **Inovagri**, 377p., 2020.

ROSENDO, J.; SANTOS, J. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SANTOS, I.S. **Estresse hídrico controlado em culturas agrícolas no Cerrado Brasileiro**. 58p., 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. *Deficit* hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SCHWARTZ, H.F.; HARVESON, R.M.; STEADMAN, J.R. **White mold of dry beans**. Published by University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, 2012. Disponível em: <https://extension.colostate.edu/docs/pubs/crops/02918.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração: Necessidade de água para as plantas cultivadas**. ABEAS Módulo 2 do Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação, 173p., 1996.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da Irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Goiânia: Embrapa, Circular Técnico, 27, 46p., 1994.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.O.R.D. (Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. Revista Irriga, Botucatu, v.11, n.1, p.12-25, 2006.

SOUZA, L.F. **Utilização da variação dendrométrica como indicador para o manejo da irrigação de plantas de café.** 65p., 2009. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 719p., 2004.

TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L. Application of land sat images for quantifying the energy balance under conditions of fast land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: SPIE REMOTE SENSING, 2012, Edimburgh. **Proceedings** [...]. Edimburgh: SPIE, p.1-10, 2012.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E.; CARDOSO, J.L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio,** UNICAMP-FEA. Documento Abimaq, 45p., julho, 2002.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. World Agricultural Production. 2021. Disponível em: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/5q47rn72z?locale=em>. Acesso em: 18 abr. 2021.

VENTURIN, A.Z. **Coefficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon baseado na detecção de fluxo de seiva.** 87p., 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF. Campos dos Goytacazes, 2016.

CAPÍTULO 32

32 ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE: CONTRIBUIÇÕES DAS CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AGRICULTURA IRRIGADA

Gregorio Guirado Faccioli e Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Resumo

Diversas ações humanas estão causando impactos ambientais nos recursos naturais acarretando a degradação da qualidade do solo, do ar e da água. Tal situação dificulta a autorregulação da natureza resultando em consequências danosas de difícil previsibilidade e que podem colocar em risco a própria existência humana. Diante destas situações, os acordos internacionais podem estimular e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais. A água é um recurso essencial para a sustentabilidade da vida na terra. Sem este líquido vital, animais, vegetais e principalmente seres humanos padeceriam em poucos dias. A vantagem de utilizar a metodologia de Calorio (1997) para determinação de um índice de sustentabilidade com base em indicadores das dimensões ambientais, sociais e econômicas, é que ela possibilita a representação de todo um conjunto de indicadores mensurados, para um determinado sistema, em um único diagrama, independente das unidades de medida dos diferentes indicadores utilizados. A determinação do índice de sustentabilidade para a agricultura irrigada é importante para o entendimento dos possíveis conflitos pelo uso da água e também alertar para a necessidade de monitoramento das áreas mais afetadas pela sua escassez.

32.1 Introdução

O ser humano é um agente transformador do meio que está inserido, por isso sempre buscou estabelecer a submissão da natureza aos seus interesses. Assim, as formas de interação dos seres humanos com a natureza foram sendo modificadas ao longo do processo evolutivo da humanidade. Neste sentido, as técnicas rudimentares que garantiam apenas a subsistência das primeiras civilizações foi sendo aperfeiçoadas ao decorrer dos séculos (CUELLAR, 2017).

A água é um dos recursos naturais que mais contribui para a manutenção das mais variadas formas de vida no planeta, quer seja na composição de seus corpos, na promoção das reações metabólicas, na evolução do modo de vida de suas populações ou na interação com o meio ambiente. Assim como a sua escassez, em termos quantitativos, interfere na forma como estes seres vivos a utilizam, e nas estratégias fisiológicas e comportamentais que desenvolvem para se adaptarem às diferentes condições ambientais proporcionadas pela diferente distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos (MENDONÇA, 2013).

Uma importante ação humana que causa a contaminação e poluição das águas está relacionada ao descarte inadequado dos esgotos domésticos. Neste sentido, a falta de saneamento básico em diversas regiões no mundo tem proporcionado o lançamento de esgotos domésticos diretamente nos recursos hídricos gerando impactos socioeconômicos e ambientais, haja vista que as poluições das águas geram altos custos de tratamento e a diminuição do abastecimento de água para a população. As águas contaminadas geram a propagação de doenças que podem ser geradas por bactérias, vírus, fungos, protozoários que podem colocar em risco à saúde pública (BRASIL, 2004).

O termo desenvolvimento sustentável se tornou mundialmente conhecido após a publicação do relatório "Nosso Futuro Comum", que foi apresentado em 1987 à Assembleia Geral das Nações Unidas pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. A

partir de então, a expressão “desenvolvimento sustentável” foi se legitimando como sendo o maior desafio desse século (VEIGA; ZATZ, 2008). De acordo com o referido relatório, meio ambiente e desenvolvimento não constituem desafios separados; estão inevitavelmente interligados. O desenvolvimento não se mantém se a base de recursos ambientais se deteriorarem; o meio ambiente não pode ser protegido se o crescimento não levar em conta as consequências da destruição ambiental. Esses problemas não podem ser tratados separadamente por instituições e políticas fragmentadas. Eles fazem parte de um sistema complexo de causa e efeito (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991).

No atual cenário mundial, a agricultura irrigada ganha, cada vez mais, importância na produção de alimentos, à medida que é responsável pela produção de cerca de 40% da safra mundial, ocupando apenas 17% da área total cultivada (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Como também, o contínuo crescimento da população mundial e conseqüentemente do consumo de alimentos é responsável pela promoção da necessidade de se aumentar a produção de alimentos em termos quantitativo e qualitativo, exigindo para tanto uma agricultura competitiva e tecnificada. Nesse cenário, a irrigação se apresenta como uma das ferramentas que pode contribuir no atendimento da referida necessidade (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Dentro desse contexto, destaca-se, também, o fato de a segurança alimentar depender cada vez mais dos alimentos produzidos através do processo de irrigação, o qual depende totalmente da disponibilidade ou alocação específica de água, ou seja, a segurança alimentar cada vez mais depende da agricultura irrigada, que por sua vez é dependente da segurança hídrica (INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA, 2008).

32.2 Relação sociedade e natureza

A configuração atual do planeta é resultado das diversas formas de interação entre a sociedade e a natureza. Assim, através da análise cronológica da vida humana na terra é possível compreender como as relações humanas com a natureza foram modificadas ao decorrer da história da humanidade. Neste sentido, compreende-se que nos tempos primordiais, o ser humano era caracterizado como nômade e estabelecia a contemplação da natureza reconhecendo-a como sagrada e divina e, portanto, o ser humano era um ser limitado haja vista que adequava as suas necessidades aos recursos e bens disponibilizados pela natureza (NAVES; BERNARDES, 2014).

A partir de um determinado momento ocorreu o desenvolvimento de um período marcado pelo início da evolução humana o qual foi evidenciado sobretudo pelo o conhecimento das técnicas que favoreceu a fixação dos seres humanos na terra. (NAVES; BERNARDES, 2014). Neste contexto, vale destacar a existência de ideologias que defendem as fases do Holoceno e o Antropoceno os quais caracterizam as formas de organização e estruturação humana no espaço geográfico bem como explicam a forma de interação das pessoas com natureza ao decorrer das eras. Deste modo, compreende-se que a Fase do Holoceno correspondeu ao início da história da humanidade, consistindo no aparecimento das primeiras civilizações.

Este período representa que o ser humano utilizava a natureza para garantir a sua sobrevivência por meio de práticas de subsistência (CUELLAR, 2017). Assim, o holoceno foi um período caracterizado pela estabilidade ambiental e aos poucos surgiu uma nova fase denominada de Antropoceno. Deste modo, entende-se que o Antropoceno consiste em uma nova fase marcada pelas profundas mudanças e instabilidades ambientais causadas pela intensificação da ação dos seres humanos sobre a natureza com base nos processos de modernização que culminaram na excessiva extração dos recursos naturais para atender aos padrões de produção e consumo gerados pelo crescimento demográfico e pelos avanços da

tecnologia (VIOLA; BASSO, 2016). Vale ressaltar que diversos autores têm definido que as mudanças significativas nas relações humanas com o meio ambiente ocorreram em virtude de diversos cenários históricos que marcaram os processos de evolução da humanidade e que favoreceram a dominação dos seres humanos sobre a natureza.

Dentre estes autores, encontra-se Bruseke (2010) que afirma que a era moderna foi marcada pela racionalização do pensamento humano e pela Revolução científica e tecnológica. A racionalização foi vista como a forma de promover a liberdade, igualdade e a emancipação humana a partir da razão, enquanto a revolução científica e tecnológica com base na utilização de técnicas e instrumentos foram os meios utilizados pela sociedade para se apropriar da natureza. Nessa conjuntura, as concepções de desenvolvimento e progresso adquiriram destaque e determinaram as formas de agir da sociedade contemporânea.

Vale destacar que a globalização e as inovações tecnológicas também desencadearam a ideologia hegemônica do progresso da humanidade devido aos grandes e relevantes avanços científicos, econômicos, sociais e produtivos adquiridos através destes, mas as devastas consequências causadas pelas guerras e as catástrofes mundiais estabeleceram a insegurança e a reflexão sobre estes progressos tecnológicos. (DUPAS, 2007).

Vale destacar que o auge da temática ambiental especificamente a crise ambiental se estabeleceu a partir da década de 1960, principalmente sobre as consequências do uso da ciência e da tecnologia que intensificaram as formas de dominação humana sobre a natureza. Dentre as consequências dos impactos ambientais destacam-se as mudanças climáticas, aquecimento global, escassez de água doce, degradação do solo, redução da biodiversidade e a poluição (SANTOS FILHO, 2015).

32.3 A importância dos acordos internacionais nos processos de mitigação dos impactos socioambientais

Diante de um cenário global caótico caracterizado pela constante intervenção das atividades antrópicas nos recursos naturais e pelo agravamento das questões sociais, econômicas e ambientais em diversas partes do mundo, surgiu a necessidade de estabelecer a formação de acordos internacionais. Neste sentido, cronologicamente, em meados de 1972 foi realizado na cidade de Estocolmo, na Suécia, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano com ênfase nos aspectos ambientais e na busca de um novo processo econômico (SOGLIO; KUBO, 2016).

Posteriormente, em 1987 a temática ambiental ganhou destaque na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) também conhecida como Nosso futuro Comum chefiada por Gro Harlem Brundtland que foi nomeada como presidente da comissão. Esta comissão destacou que os desafios de reconstrução das nações após a segunda guerra mundial impulsionaram a busca por mudanças globais. Além disso, esta comissão centralizou a atenção no meio ambiente e nos problemas sociais bem como buscou criar estratégias para alcançar o desenvolvimento sustentável em nível mundial (UNITED NATIONS, 1987).

Estes eventos se tornaram o estopim da busca por mudanças de organização da sociedade tornando-se fonte de incentivo e motivação para o desenvolvimento de novos acordos internacionais. Neste sentido, em junho de 1992 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento também conhecida como ECO-92 realizada no Rio de Janeiro (SOGLIO; KUBO, 2016).

Nesta conjuntura, em 2002, ocorreu a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável que foi realizada em Joanesburgo, África do Sul. O relatório divulgado informou a importância do desenvolvimento de uma sociedade solidária, estimulou o diálogo entre as nações e o respeito a rica diversidade. O relatório também realçou a ênfase no desenvolvimento sustentável e priorizou as situações enfrentadas mundialmente como a fome,

desnutrição, problemas sociais envolvendo o conflito armado, desastres naturais e as diversas formas de discriminação. Também relatou a necessidade de dar atenção aos países menos desenvolvidos e o melhoramento da governança (UNITED NATIONS, 2002).

Assim, em 2012, foi instituída a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável também intitulada como RIO + 20, a qual foi realizada no Rio de Janeiro, Brasil. O relatório desenvolvido também ficou conhecido como o Futuro Que Queremos, no qual destacou-se a importância do fortalecimento do desenvolvimento sustentável em todos os setores econômicos, sociais e ambientais também objetivou acabar com as desigualdades, assegurar o direito universal à alimentação e garantir os direitos humanos preconizados pela declaração universal dos direitos humanos. Também ressaltou a importância da implementação de uma boa governança, a promoção da gestão sustentável dos recursos naturais e dos ecossistemas para auxiliar tanto na conservação e preservação quanto na restauração destes. (UNITED NATIONS, 2012).

Neste sentido, também surgiu no ano 2000, os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio denominados de ODM, este foi constituído por oito objetivos que consistiriam em eliminar a pobreza e a fome, possibilitar o acesso equitativo a educação, estabelecer a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres, diminuir a mortalidade na infância, acesso à saúde materna de qualidade, possibilitar subsídios para combater doenças, assegurar a sustentabilidade ambiental e promover parceria mundial para atingir o desenvolvimento sustentável (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2014).

Assim, para garantir a efetivação da ODM até o ano de 2015, foram criados indicadores para auxiliar, acompanhar e avaliar o andamento socioeconômico dos países envolvidos e suas capacidades para alcançar os presentes objetivos. Apesar da relevância da aplicação dos indicadores, alguns destes disponibilizados pela ONU, não permitiram representar determinadas situações locais devido à falta de dados ou processos técnicos e por essa razão alguns países como o Brasil, buscou adequá-las quando possível à realidade local (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2014).

Neste sentido, a busca incessante de instituir um planeta baseado na sustentabilidade, inclusão, equidade, paz e prosperidade, propiciou em setembro de 2015, a criação da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, constituída por 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas as quais incluíram e aperfeiçoaram as metas e objetivos do desenvolvimento do milênio (ODM) (BRASIL, 2017).

Desta forma, os países participantes devem realizar o processo de internalização e interiorização das ODS a partir adequação das metas globais à realidade local até o ano de 2030. Portanto, para que haja a efetivação destas metas e objetivos deve-se haver a realização de políticas públicas, mobilização e diálogo entres os diversos setores da sociedade tais como os entes federativos, administrativos, ONGs e sociedade civil (BRASIL, 2017).

Assim, dentre os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável encontram-se o ODS 2 com ênfase na fome zero e agricultura sustentável o qual institui a importância do desenvolvimento de práticas agrícolas resilientes que garantam o melhoramento da qualidade do solo e do cultivo, o crescimento da produção de alimentos e a garantia de incentivos em pesquisas para a produção agrícola sustentável (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2015).

O ODS 6 enfatiza que todas às pessoas possuem o direito ao acesso à água potável de forma segura e de qualidade. Além disso, visa promover a redução da quantidade de águas residuais não tratadas, estabelecer o tratamento de efluentes e garantir a implementação de tecnologias de monitoramento da reciclagem e da reutilização segura de águas residuais (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2015).

32.4 Dimensões da sustentabilidade

A abordagem do desenvolvimento sustentável fundamentada na harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos, não se alterou desde o encontro de Estocolmo até as conferências do Rio de Janeiro. A recomendação da utilização dos oito critérios distintos de sustentabilidade (social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômico, política nacional e política internacional), é válida até hoje (SACHS, 2008).

De acordo com Barbosa (2008), a sustentabilidade consiste em encontrar meios de produção, distribuição e consumo dos recursos existentes de forma mais coesiva, economicamente eficaz e ecologicamente viável.

De acordo com Sachs (1993), as dimensões da sustentabilidade abordam outras dimensões das atividades humanas, além da ecológica, tais como a sustentabilidade econômica, social, espacial, cultural, tecnológica e a política. Os conteúdos destas dimensões da sustentabilidade relacionados com as questões do desenvolvimento sustentável são descritos a seguir.

32.4.1 Sustentabilidade na dimensão ecológica

A sustentabilidade na dimensão ecológica inclui questões relacionadas com o manejo sustentável e a gestão integrada dos recursos naturais. Assim como, compreende a preservação, a reciclagem, a reutilização, o combate ao desperdício e a conservação dos recursos finitos, de modo que o desenvolvimento seja possível dentro de uma ética ambiental mais solidária com a natureza e com as gerações futuras.

32.4.2 Sustentabilidade na dimensão econômica

A sustentabilidade na dimensão econômica compreende a criação de mecanismos para um novo sistema produtivo, integrado e de base local, nos quais sejam estimuladas a diversidade e a complementaridade de atividades econômicas, gerando uma cadeia de iniciativas de modo que a agricultura, a indústria, o comércio e setor de serviços gerem melhorias nas condições de vida para todos os sistemas envolvidos, quer sejam sociais ou naturais.

32.4.3 Sustentabilidade na dimensão social

A sustentabilidade na dimensão social abrange o atendimento às necessidades essenciais de uma sociedade, tais como: saúde, educação, habitação, infraestrutura e saneamento básico. E ainda compreende a garantia dos direitos fundamentais do ser humano e a redução das desigualdades sociais, combatendo prioritariamente a pobreza. Desse modo, devem-se criar mecanismos para geração de trabalho, renda e inserção social, de forma a prover condições e dignidade para superar as precárias condições em que vive uma expressiva parcela da sociedade brasileira. Para alcançar esse objetivo, deve apoiar-se na transferência de recursos exógenos e na mobilização de recursos endógenos, quer sejam públicos ou privados.

32.4.4 Sustentabilidade na dimensão espacial

A sustentabilidade na dimensão espacial inclui a promoção da desconcentração de atividades econômicas do centro urbano, a ampliação à infraestrutura e o atendimento às necessidades básicas da população nas áreas rurais, o fomento da instalação de empreendimentos que utilize como insumos a produção local, construindo assim uma cadeia produtiva que agregue valor à produção local e melhore a qualidade de vida da região.

32.4.5 Sustentabilidade na dimensão cultural

A sustentabilidade na dimensão cultural compreende o desenvolvimento de projetos que contribuam para a preservação da diversidade cultural local, em face da cultura de massa, capacitando a sociedade com base em valores tradicionais e éticos, criando condições para a expressão da arte local e para transferência das tradições às gerações futuras. Capacita a sociedade também no exercício da cidadania consciente para a construção de uma ética baseada em princípios de solidariedade e confiança mútua.

32.4.6 Sustentabilidade na dimensão tecnológica

A sustentabilidade na dimensão tecnológica abrange a promoção do desenvolvimento científico e tecnológico local, o fomento de parcerias entre órgãos governamentais e não governamentais, universidades, mercado e sociedade civil, promovendo o intercâmbio e a cooperação técnica e investindo no desenvolvimento de recursos humanos locais.

32.4.7 Sustentabilidade na dimensão política

A sustentabilidade na dimensão política inclui a criação de condições para a participação efetiva da sociedade civil, no planejamento e controle social das políticas públicas, a partir da disponibilização de uma base de informação desagregada, que permita uma análise mais apurada da economia e da realidade social local, provendo condições de êxito para a participação da sociedade nos projetos de desenvolvimento sustentável. Cabe ainda atuar também no desenvolvimento de uma filosofia, dentro da administração pública, voltada para os interesses da sociedade, de modo a eliminar qualquer prática clientelista ou distorcida sobre os conceitos da governabilidade. Contas equilibradas e responsabilidade com o patrimônio público fazem parte desta filosofia.

32.5 Indicadores e índice de sustentabilidade

Diante da forma que se desenvolve a humanidade, a maneira como o homem utiliza os recursos naturais causa impactos em relação ao meio ambiente, cuja prática poderá trazer limitações ao próprio processo de continuação de desenvolvimento humano. Com efeito, é necessário que as pessoas que estão à frente das decisões sobre a relação entre progresso e sustentabilidade, tenham a possibilidade de ter ao seu alcance dados consideráveis. Neste caso isso será possível através dos indicadores, que são instrumentos que simplificam, quantificam e analisam as informações técnicas e comunicam aos diversos atores sociais a realidade em como um todo (BENETTI, 2006).

Guimarães e Feichas (2009) acreditam que as mudanças são necessárias e tende a desenvolver uma conscientização na sociedade acerca da situação ambiental e social na qual ela está inserida, cujo objetivo é fazer com que participem ativamente nas decisões de progresso que anseia. Assim, durante as décadas 1970 e 1980, deu-se início a utilização dos indicadores ambientais, fruto dos trabalhos e união entre governos e organizações internacionais que elaboraram e divulgaram os primeiros relatórios sobre o Estado do Ambiente (FRANÇA, 2001).

Segundo Van Bellen (2002), os indicadores têm como objetivo fundamental reunir e dimensionar informações de forma que sua relevância fique mais evidente. Os indicadores são responsáveis por facilitar as informações sobre acontecimentos ou fatos de grande complexidade e de difícil entendimento, em informações que facilitem o procedimento de comunicação.

Para Hammond *et al.* (1995), os indicadores são um meio simples para o fornecimento de informações, pois são mais facilmente compreendidos que as estatísticas complexas ou

outro tipo de dados econômicos ou científicos, uma vez que aumentam um modelo ou conjunto de suposições que descrevem o indicador para um acontecimento complexo. Deve-se ter cautela porque os indicadores constituem um padrão experimental da realidade e não a realidade de fato, mas que podem ser avaliados de forma minuciosa e ter uma metodologia padrão para aferição.

Outrossim, os indicadores têm como principal finalidade reunir e quantificar diversas informações, simplificar o fenômeno, em muitos casos ajuda auxiliar nas tomadas de decisões, colaborando desse modo, para a conservação do meio ambiente e com as ações de cunho ambiental (VAN BELLEN, 2002).

Além disso, é seguro afirmar que os indicadores de sustentabilidade constituem importantes padrões que evidenciam a realidade, inserido num âmbito de multidisciplinaridade, com o propósito de oferecer informações relevantes para que as decisões sejam tomadas de forma segura (SILVA *et al.*, 2012).

Magalhães Júnior (2011) afirma que os indicadores são amostras simplificadas verídicas da realidade capazes de facilitar o entendimento dos fenômenos, na verdade, é uma contribuição à decisão do pesquisador, é uma maneira de confrontar os dados brutos e adequar as informações à linguagem e aos interesses daqueles que decidirão. Dessa forma, é possível compreender que não são elementos que tendem a explicar ou descrever, mas sim, passar informações pontuais dentro de um determinado tempo e espaço, de que a integração e o avanço consentem a dinamicidade da realidade.

O indicador de sustentabilidade pode ser definido como uma seleção de critérios ou princípios que concede a medição das transformações da ação do homem num sistema estabelecido e informar, de maneira simplificada, a condição deste sistema em relação as bases e metas determinadas para avaliação de sua sustentabilidade” (MOURA, 2002).

Por conseguinte, “o objetivo principal da mensuração é auxiliar os tomadores de decisão na avaliação de seu desempenho em relação aos objetivos estabelecidos, fornecendo bases para o planejamento de futuras ações” (VAN BELLEN, 2002). Ainda na concepção do autor, para que isto ocorra, é necessário a utilização de indicadores para conectar as atividades passadas e presentes com as metas ainda futuras. É de suma importância destacar que os indicadores são ferramentas acessíveis para as tomadas de decisões.

Nesta perspectiva, Van Bellen (2002) acredita que os indicadores são úteis por várias razões: (i) auxiliam os tomadores de decisão a compreender melhor, em termos operacionais, o que o conceito de desenvolvimento sustentável significa, funcionando como ferramentas de explicação pedagógicas e educacionais; (ii) auxiliam na escolha de alternativas políticas, direcionando para metas relativas à sustentabilidade. As ferramentas fornecem um senso de direção para os tomadores de decisão e, quando escolhem entre alternativas de ação, funcionam como ferramentas de planejamento; e (iii) avaliam o grau de sucesso no alcance das metas estabelecidas referentes ao desenvolvimento sustentável, sendo estas medidas ferramentas de avaliação.

Neste contexto, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) afirma que um determinado indicador “pode ser entendido como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros que apontam e fornecem informações sobre o estado ou um fenômeno, com uma extensão significativa” (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 1993).

Portanto, um indicador é um instrumento que permite obter informações sobre uma realidade posta, do qual a principal característica é a capacidade de sumarizar a complexidade de informações, preservando apenas o conceito essencial daquilo que foi pesquisado. Logo, um indicador pode ser estabelecido como um sinal diante das atividades realizadas pelo homem dentro de um determinado sistema (MITCHELL, 1997).

A construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável passou a ter ênfase, em nível internacional, a partir da necessidade de se concretizar as disposições dos capítulos 8 e 40 da agenda 21, que versam sobre a relação entre meio ambiente, desenvolvimento sustentável e informações para tomada de decisões (TAYRA; RIBEIRO, 2006).

O primeiro formato proposto, pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS) das Nações Unidas, para os indicadores de desenvolvimento sustentável foi o da aplicação do modelo Pressão/Estado/Resposta (PER), enquanto que os indicadores foram agrupados nas dimensões social, econômica, ambiental e institucional. O referido modelo, leva em consideração três aspectos, a saber: (i) o estado da situação atual, medido por meio de indicadores que captem mudanças observáveis no meio ambiente; (ii) as forças e atividades que estão mantendo ou causando o estado atual, medidas por meio de indicadores que registrem atividades antrópicas as quais interferem no meio ambiente; e (iii) as ações que estão sendo tomadas para melhoria, manutenção ou reversão do Quadro encontrado, as quais devem ser mensuradas por meio de indicadores que representam as respostas da sociedade para solucionar o problema (PHILIPPI JÚNIOR; MALHEIROS; AGUIAR, 2005).

Segundo Siche *et al.* (2007), um índice representa um dado mais apurado proveniente da agregação de um jogo de indicadores ou variáveis, que pode auxiliar na interpretação da realidade de um sistema. Ou seja, é um valor agregado final, oriundo de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. Sendo que o resultado obtido pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão. O principal objetivo de um índice é proporcionar informações compactas e objetivas para contribuir com o gerenciamento e com as políticas de desenvolvimento, de modo a permitir que os decisores e o público possam entendê-los e relacioná-los (VIEIRA; STUDART, 2009).

32.6 Indicadores relacionados a água e a agricultura irrigada

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2011), os principais índices de qualidade da água utilizados pelas diferentes unidades da federação no País atualmente são: o Índice de Qualidade das Águas (IQA), Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP), Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Contaminação por Tóxicos, Índice de Balneabilidade (IB) e o Índice de Qualidade de Água para a Proteção da Vida Aquática (IVA). Vale ressaltar que o Índice de Qualidade das Águas (IAQ) começou a ser utilizado no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), a partir de 1975, e atualmente ele é o principal índice de qualidade da água utilizado dentro do território nacional.

32.7 Uso da água

Os indicadores de desempenho desenvolvidos pelo Programa Internacional de Tecnologia e Pesquisa em Irrigação e Drenagem (IPTRID) (MALANO; BURTON, 2001), ampliados e melhorados por Pérez *et al.* (2004) são organizados nas seguintes categorias: (i) fornecimento anual de água de irrigação por unidade de área irrigada correspondente ao volume anual total de água desviada ou bombeada para irrigação (m^3) dividido pela área irrigada total durante o ano (ha); (ii) o custo total de gerenciamento, operação e manutenção por unidade de volume fornecido representa o custo total da água e é calculado como a relação entre o custo total de gerenciamento, operação e manutenção da prestação do serviço de irrigação (R\$) e o total de água entregue aos agricultores anualmente (m^3); (iii) a produção por unidade de fornecimento de irrigação é o valor anual total da produção agrícola dentro do perímetro de irrigação (R\$) dividido pelo volume anual total de água bombeada para irrigação (m^3); (iv) a produção por unidade de área irrigada é o valor total da produção agrícola (R\$) e a área irrigada total durante o ano (ha); e (v) o fornecimento anual relativo de água (FARA) representa o volume total aplicado por irrigação (I) mais a precipitação efetiva total (P_{ef})

dividido pelo volume total anual de água utilizada pela cultura para atender a demanda evapotranspirométrica (ETc):

$$FARA = \frac{I + P_{ef}}{ETc} \quad (1)$$

(vi) o fornecimento anual relativo de irrigação (FARI) é a razão entre o volume anual total de água desviada ou bombeada para irrigação (I) e o volume anual total de água de irrigação necessária para as culturas (ETc) menos a precipitação efetiva (P_{ef}):

$$FARI = \frac{I}{ETc - P_{ef}} \quad (2)$$

32.8 Uso de energia

Os indicadores de uso de energia, propostos por Córcoles *et al.* (2010; 2012) e IDAE (INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA, 2008) são organizados nas seguintes categorias: (i) consumo sazonal de energia é a porcentagem de energia consumida todo mês em relação à energia total anual consumida na estação de bombeamento; (ii) a potência por unidade de área irrigada é a razão entre a potência total consumida (kW) e a área irrigada total (ha); (iii) a relação entre a potência máxima consumida e a potência contratada é o consumo máximo de energia registrado na estação de bombeamento entre a potência contratada e a energia fornecida; (iv) consumo de energia por unidade de área irrigada é o consumo total de energia nas estações de bombeamento (kW h) dividido pela área irrigada (ha); Consumo de energia por unidade de água fornecida pela irrigação é a razão entre o consumo total de energia (kW h) e o volume total anual de água bombeada para irrigação (m^3); (v) custo energético por unidade de volume fornecido é o custo anual total de energia (R\$) por volume anual total de água entregue aos agricultores (m^3); (vi) a relação entre energia e custos totais de gerenciamento, operação e manutenção é a porcentagem dos custos totais de gerenciamento, operação e manutenção devido aos custos de energia; (vii) o indicador de eficiência energética do bombeamento (EEB) mostra a relação entre a energia consumida e a energia fornecida ao escoamento da água (ABADIA *et al.*, 2008). Ele é calculado de acordo com a equação sugerida por Ederra e Larrumbe (2007):

$$EEB (\%) = \frac{V}{3,6 \cdot H} \cdot \frac{0,736 \cdot 100}{75 \cdot E_a} \quad (3)$$

em que V se refere ao volume de água bombeada (m^3); H à pressão de operação na Estação de bombeamento (m); e E_a à energia consumida anual (kWh); e (viii) a produção por unidade de energia consumida é igual ao valor anual total da produção agrícola dentro do perímetro de irrigação (R\$) dividido pelo total da energia anual consumida na estação de bombeamento (kW h).

32.9 Metodologias para determinação do índice de sustentabilidade

Existem várias metodologias para determinação do índice de sustentabilidade, entre elas, a metodologia proposta por Calorio (1997). O índice é obtido calculando-se o valor da área conformada pelas variáveis quando plotadas em um gráfico do tipo radar. Cada um dos eixos do gráfico corresponde a um indicador, que pode ser das dimensões ambiental, econômica, social, técnica, etc. A área do polígono será o valor do índice. A vantagem de utilizar a metodologia de Calorio (1997), é que ela possibilita a representação de todo um conjunto de indicadores mensurados, para um determinado sistema, em um único diagrama, independente das unidades de medida dos diferentes indicadores utilizados. Pois, à medida que os indicadores passam pelo processo de padronização adquirem o mesmo peso relativo na composição do índice de sustentabilidade. Calorio (1997) recomenda os seguintes passos:

(i) Transformação dos valores dos indicadores: visa padronizar os valores dos indicadores para vp_n , conforme descrito abaixo, eliminando os efeitos de escala e de unidade de medida, uma vez que representam indicadores diferentes, o que assegura que cada um deles tenha o mesmo peso relativo na determinação do índice:

$$vp_n = \frac{5 + (X_n - \bar{X})}{S} \quad (4)$$

em que vp_n se refere ao valor do indicador n padronizado; x_n ao valor original do indicador n ; \bar{X} ao valor médio de todos os indicadores; S ao desvio padrão para todos os indicadores; e 5 à constante acrescentada por Calorio (1997); (ii) Cálculo da área de cada triângulo identificado no gráfico (S_n), a partir do valor padronizado de dois indicadores adjacentes e do ângulo definido no passo anterior (b):

(a) Obtenção do lado desconhecido do triângulo:

$$d_n = \sqrt{(vp_n)^2 + (vp_{n+1})^2 - 2 \times (vp_n \times vp_{n+1}) \times \cos \alpha} \quad (5)$$

em que d_n se refere ao lado desconhecido do triângulo; vp_n e vp_{n+1} aos valores padronizados dos indicadores n e $n+1$; e α ao ângulo formado entre dois indicadores ($360^\circ / \text{de indicadores}$).

(b) Cálculo do semiperímetro do triângulo:

$$p_n = \frac{vp_n + vp_{n+1} + d_n}{2} \quad (6)$$

em que p_n se refere ao semiperímetro do triângulo n ; vp_n , vp_{n+1} e d_n aos lados do triângulo.

(c) Cálculo da área do triângulo:

$$S_n = \sqrt{p_n(p_n - vp_n) \times (p_n - vp_{n+1}) \times (p_n - d_n)} \quad (7)$$

(d) Cálculo do índice de sustentabilidade (IS):

$$IS = \sum_{n=1}^N S_n \quad (8)$$

Outra metodologia para determinação do índice de sustentabilidade é a proposta por Sobral, Almeida e Gomes (2012). Nesta metodologia inicialmente é calculado um índice para cada dimensão através da média aritmética dos indicadores da referida dimensão e posteriormente o índice de sustentabilidade final é calculado também pela média aritmética dos índices determinados anteriormente.

Com a intenção de aproximar os indicadores da realidade estudada, nesta metodologia pode-se atribuir pesos que possibilitasse identificar o nível de sustentabilidade do indicador em estudo (LEITE, 2017).

Sobral, Almeida e Gomes (2012) sugerem uma classificação do índice atribuindo níveis de sustentabilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação do índice de sustentabilidade (SOBRAL; ALMEIDA; GOMES, 2012).

Índice (0 – 1)	Nível de Sustentabilidade
0,80 < Índice ≤ 1,00	Ideal
0,60 < Índice ≤ 0,80	Bom
0,40 < Índice ≤ 0,60	Regular
0,20 < Índice ≤ 0,40	Ruim
0,00 < Índice ≤ 0,20	Péssimo

32.10 Aplicações da metodologia na agricultura irrigada

Este tópico apresenta exemplo de aplicação da metodologia de determinação de Índice de Sustentabilidade na agricultura irrigada. Esta pesquisa "sustentabilidade e usos múltiplos

da água na província de Almeria, Espanha” foi realizada durante estágio pós-doutoral na Universidade de Sevilha, Espanha, em 2019.

Foi mensurado o índice de sustentabilidade segundo a metodologia de Calorio (1997) e Sobral, Almeida e Gomes (2012) para a província de Almeria – Espanha considerando o cultivo irrigado em ambiente protegido. Os parâmetros para calcular o índice de sustentabilidade foram estabelecidos para cada indicador baseando-se em dados coletados em campo e apresentados no trabalho García *et al.* (2016), em dois recortes temporais 2005-2006 (400 entrevistas) e 2012-2013 (450 entrevistas). O espaço amostral é a província de Almería, especificamente as regiões com maior percentual de área de ambiente protegido, Campo de Dalías e Campo de Níjar-Bajo Andarax. A área de ambiente protegido da campanha de 2005/2006 para 2012/2013 aumentou de 25.983 ha para 28.576 ha. Houve um aumento de quase 10%. Os municípios que mais cresceram foram Níjar, El Ejido, Berja e Adra.

Inicialmente calculou-se para cada indicador um percentual de cada resposta obtida dividindo a quantidade de respostas pelo total de entrevistados na Província de Almeria - Espanha e posteriormente calculou-se uma média ponderada dos percentuais em função do número de respostas e número total de entrevistados.

Este procedimento foi necessário para que o indicador apresentasse um único valor quantitativo. Cada indicador apresentava duas possibilidades de resposta e foram considerados uma delas como sustentável e outra insustentável, com exceção do indicador escolaridade que apresentou três possibilidades, sustentável, transição e sustentável. Quando o percentual da resposta considerada insustentável foi maior que 50% o cálculo final da média ponderada foi ajustada, ou seja, a média ponderada final foi 100% menos a média ponderada inicialmente calculada. Este procedimento é necessário, pois um indicador considerado insustentável deve apresentar uma média ponderada final menor que 50% para que possa ser comparado com outros e não indicasse uma condição de sustentabilidade ou seja, maior que 50%.

A Tabela 2 apresenta a nomenclatura dos indicadores ambientais, econômicos e sociais utilizados para cálculo do índice de sustentabilidade utilizando as metodologias de Calorio (1997) e de Sobral, Almeida e Gomes (2012).

Tabela 2. Descrição e nomenclatura (N) dos indicadores sociais, econômicos, ambientais e culturais utilizados para representação dos eixos do gráfico radar (FACCIOLI, 2019).

Descrição	N
Indicadores ambientais	
Regula e Armazena água de irrigação	IA1
Malhas para controle de insetos	IA2
Ambiente Protegido (Invernadero) com Sistema de captar água de chuva	IA3
Controlador de sistema de irrigação	IA4
Indicadores econômicos	
Assistência Técnica	IE1
Quantidade de Análises de água, solo, fertilizantes	IE2
Problemas de baixos preços - Diferença de origem e destino	IE3
Tamanho da Propriedade	IE4
Indicadores sociais	
Escolaridade	IS1
Acesso à Internet	IS2
Acesso à energia elétrica em El Ejido	IS3
Curso de aplicador de produtos fitossanitários (CAPF)	IS4

Para o IA1 foi considerado sustentável se regula e armazena água de irrigação, para o IA2 foi considerado sustentável se possui malhas para controle de insetos nos ambientes, para o IA3 foi considerado sustentável se o ambiente protegido (invernadero) possui sistema para captar água de chuva e para o IA4 foi considerado sustentável se os irrigantes possuem controlador do sistema de irrigação.

Importante lembrar que a irrigação representa o setor de atividade que mais consome água no mundo e o uso de controladores são essenciais para otimizar a utilização deste recurso escasso na região. Segundo Cunha (2019), a irrigação automatizada existente no mercado é basicamente, um sistema em que culturas são irrigadas em dias e horários pré-programados, com tempo de funcionamento definido para atender às necessidades da vegetação. Um dos modelos existentes no mercado é o temporizador de irrigação, que permite ligar e desligar o sistema em um tempo pré-programado. Segundo Santos (2009), modelos mais avançados permitem ciclos de irrigação em um mesmo dia e escolha dos dias da semana para funcionamento, outros permitem que a área seja dividida em setores de irrigação para proporcionar um melhor controle da lâmina d'água. Segundo os autores estes controladores são pouco eficientes por não verificar se a quantidade de água aplicada foi necessária, uma vez que não são sensíveis a alterações climáticas que influenciam na quantidade de água a ser aplicada para cada cultura.

Para o IE1 foi considerado sustentável o irrigante possuía dois ou mais profissionais realizando assistência técnica, para o IE2 foi considerado sustentável se o irrigante realizava duas ou mais análises de água, solo e foliar, para o IE3 foi considerado sustentável se o irrigante entendia que o preço obtido pela sua produção era satisfatório e para o IE4 foi considerado sustentável se a propriedade fosse maior que um hectare.

Para o IS1 foi considerado sustentável se o nível de escolaridade dos entrevistados fosse universitário (bacharelado), para o IS2 foi considerado sustentável quando os entrevistados possuíam acesso à internet, para o IS3 foi considerado sustentável se os entrevistados de El Ejido possuíam acesso à energia elétrica do município e para o IS4 foi considerado sustentável se os produtores possuíam curso de aplicador de produtos fitossanitários (CAPF).

Os valores dos indicadores em médias ponderadas, os valores de **Vpn** (valor de cada eixo adimensionalizado), pela metodologia de Calorio (1997) da província de Almeria - Espanha estão nas Tabelas 3 e 4 para 2005-2006 e 2012-2013 respectivamente. Os valores das médias aritméticas de cada dimensão da sustentabilidade necessárias para mensurar o índice de sustentabilidade pela metodologia de Sobral, Almeida e Gomes (2012) também estão nas Tabelas 5 e 6 para 2005-2006 e 2012-2013 respectivamente. Neste trabalho a área mais limitante foi a menor área encontrada de um triângulo.

Para que a Vpn não fosse negativa, a constante de Calorio utilizada neste estudo foi 100. A definição do posicionamento de cada eixo foi obtida através de um arranjo fatorial. Para calcular o índice de sustentabilidade, foram utilizados doze indicadores e definido um arranjo de posicionamento desses indicadores. Vale ressaltar que outros arranjos não alterariam o resultado final do índice. Apenas permitiriam discussões específicas de cada indicador.

A Figura 1 apresenta o gráfico de radar construído a partir da metodologia de Calorio (1997) para a província de Almeria, Espanha, nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013.

Tabela 3. Itens, índices e valores dos indicadores em médias ponderadas, e de Vpn (valor de cada eixo adimensionalizado), pela metodologia de Calorio (1997) da província de Almeria, Espanha, para 2005-2006 (FACCIOLI, 2019).

Item	Índice	Média	Vpn
Indicadores ambientais			
Regula e Armazena água de irrigação	A1	72,45	5,7214942
Malhas para controle de insetos	A2	98,02	6,9859436
Ambiente Protegido (Invernadero) com Sistema de captar água de chuva	A3	60,58	5,1348787
Controlador de sistema de irrigação	A4	48,00	4,512913
Indicadores econômicos			
Assistência Técnica	E1	43,16	4,2733722
Quantidade de Análises de água, solo, fertilizantes	E2	63,52	5,2802348
Problemas de baixos preços - Diferença de origem e destino	E3	18,40	3,0494025
Tamanho da Propriedade	E4	72,45	5,7214942
Indicadores sociais			
Escolaridade	S1	46,34	4,4307794
Acesso à Internet	S2	39,19	4,0772775
Acesso à energia elétrica em El Ejido	S3	65,68	5,387027
Curso de aplicador de produtos fitossanitários	S4	52,88	4,7541843
Média		56,72	
Desvio Padrão		20,23	

Tabela 4. Itens, índices e valores dos indicadores em médias ponderadas (Mp) e de Vpn (valor de cada eixo adimensionalizado), pela metodologia de Calorio (1997) da província de Almeria, Espanha, para 2012-2013 (FACCIOLI, 2019).

Item	Índice	Mp	Vpn
Indicadores ambientais			
Regula e Armazena água de irrigação	A1	77,88	5,4533781
Malhas para controle de insetos	A2	97,80	6,3973848
Invernadero com Sistema de captar água de chuva	A3	68,00	4,985539
Controlador de irrigação	A4	50,32	4,1479764
Indicadores econômicos			
Assistência Técnica	E1	50,52	4,1575681
Quantidade de Análises de água, solo, fertilizantes	E2	65,43	4,8638886
Problemas de baixos preços - Diferença de origem e destino	E3	12,83	2,3718814
Tamanho da Propriedade	E4	71,63	5,1576742
Indicadores sociais			
Escolaridade	S1	51,04	4,1822256
Acesso à Internet	S2	57,65	4,4951477
Acesso à energia elétrica em El Ejido	S3	69,08	5,0368193
Curso de aplicador de produtos fitossanitários	S4	80,94	5,5986567
Média		62,76	
Desvio Padrão		21,11	

Tabela 5. Valores das médias aritméticas de cada dimensão da sustentabilidade necessárias para calcular o índice de sustentabilidade pela metodologia de Sobral, Almeida e Gomes (2012) da província de Almeria, Espanha, para 2005-2006 (FACCIOLI, 2019).

	Ambiental	Econômico	Social
	72,45	43,16	46,34
	98,02	63,52	39,19
	60,58	18,40	65,68
	48,00	72,45	52,88
Médias	69,76	49,38	51,02

Tabela 6. Os valores das médias aritméticas de cada dimensão da sustentabilidade necessárias para calcular o índice de sustentabilidade pela metodologia de Sobral, Almeida e Gomes (2012) da província de Almeria, Espanha, para 2012-2013 (FACCIOLI, 2019).

	Ambiental	Econômico	Social
	77,88	50,52	51,04
	97,80	65,43	57,65
	68,00	12,83	69,08
	50,32	71,63	80,94
Média	73,50	50,10	64,68

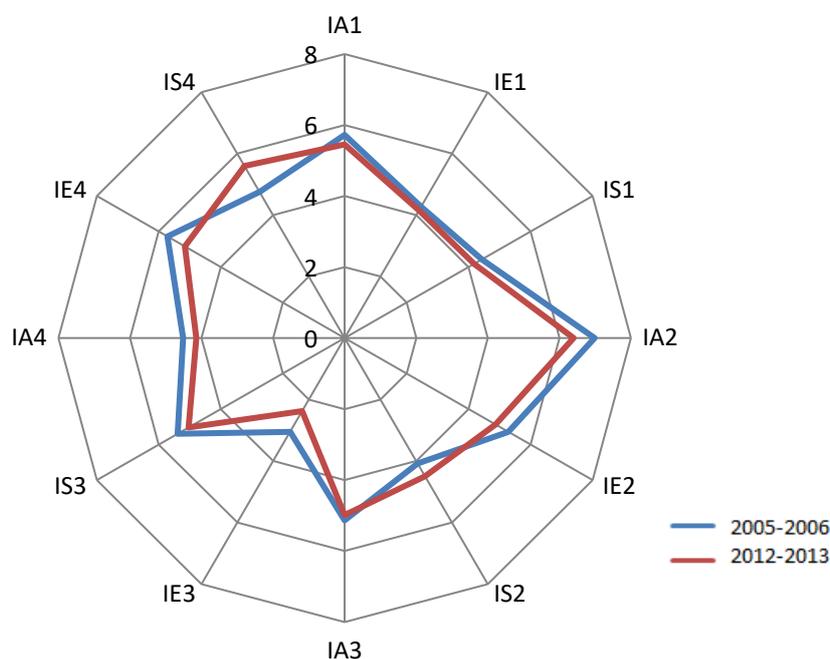


Figura 1. Radar (índice de sustentabilidade) da província de Almeria, Espanha (FACCIOLI, 2019).

Observa-se pelas Tabelas 3, 4, 5 e 6 e pela Figura 1 que o indicador malhas para controle de insetos apresentou o maior valor de média ponderada 98,02% e 97,80% nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013 respectivamente muito próximo da sustentabilidade máxima (100%) demonstrando a preocupação dos produtores no controle de pragas para garantir uma produção a mais próxima possível da potencialidade para a região e que o indicador problemas de baixo preço apresentou o menor valor de média ponderada 18,40% e 12,83% nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013 respectivamente muito distante da sustentabilidade máxima (100%) indicando que este é o maior entrave para a

sustentabilidade da atividade agrícola na região. Ao analisar a Figura 1 verificasse que o este entrave ocorre no eixo representado pelo IA3 (Invernadero com Sistema de captar água de chuva) e suas relações com o IE3 (Problemas de baixos preços).

A Tabela 7 apresenta o índice de sustentabilidade (CALORIO, 1997), área mais limitante, Índice de sustentabilidade (SOBRAL; ALMEIDA; GOMES, 2012) e classificação proposta por Sobral, Almeida e Gomes (2012) para a província de Almeria, Espanha, nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013.

Tabela 7. Índice de sustentabilidade (CALORIO, 1997) [ISC], área mais limitante (AmL), índice de sustentabilidade (SOBRAL; ALMEIDA; GOMES, 2012) [ISS] e classificação proposta por Sobral, Almeida e Gomes (2012) [CS] para a província de Almeria, Espanha, nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013 (FACCIOLI, 2019).

Local	ISC	AmL	ISS	CS
Província de Almeria Espanha 2005-2006	72,58	IA3/IE3	0,5672	Regular
Província de Almeria Espanha 2012-2013.	66,92	IA3/IE3	0,6276	Bom

Observa-se também pela Tabela 7 que o Índice de Sustentabilidade calculado pela metodologia de Calorio (1997) diminuiu quando comparamos o recorte temporal 2005-2006 e 2012-2013, cujos valores foram 72,58 e 66,92 respectivamente. A princípio este resultado indica que as ações promovidas pelos produtores não foram efetivas. Apesar destes resultados é importante lembrar que a metodologia de Calorio (1997) depende dos valores da média e do desvio padrão para estimar os valores do VPn adimensionalizado e para os recortes 2005-2006 e 2012-2013 estes valores foram diferentes.

Observa-se pela Tabela 7 que o Índice de Sustentabilidade calculado pela metodologia de Sobral, Almeida e Gomes (2012) aumentou quando comparamos o recorte temporal 2005-2006 e 2012-2013, cujos valores foram 0,5672 e 0,6276 com uma classificação REGULAR e BOM respectivamente. A princípio este resultado indica que as ações promovidas pelos produtores foram efetivas, pois observando as Tabelas 5 e 6 as médias aritméticas dos indicadores IA1, IA3, IA4, IE1, IE2, IS1, IS2, IS3 e IS4 aumentaram quando comparamos o recorte temporal 2005-2006 e 2012-2013.

Para minimizar os problemas das diferenças dos valores da média e do desvio padrão para estimar os valores do VPn adimensionalizado para os recortes 2005-2006 e 2012-2013 calculou-se o Índice de Sustentabilidade considerando as médias ponderadas como valor de VPn.

A Figura 2 apresenta o gráfico de radar construído considerando as médias ponderadas como valor de VPn para a província de Almeria – Espanha nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013. Para calcular o índice de sustentabilidade em uma escala de 0 a 100% considerando as médias ponderadas como valor de VPn, dividiu-se o valor da área encontrada na Figura 12 para 2005-2006 e 2012-2013 respectivamente pela maior área possível, ou seja, com todas as médias ponderadas iguais a 100 (máximo de sustentabilidade). A maior área possível é um valor de 30.000.

A Tabela 8 apresenta o índice de sustentabilidade considerando as médias ponderadas como valor de VPn, área mais limitante, Índice de sustentabilidade em escala de 0 a 100%, para a província de Almeria – Espanha nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013.

Observa-se pela Tabela 8 e pela Figura 2 que o Índice de Sustentabilidade considerando as médias ponderadas como valor de VPn aumentou quando comparamos o recorte temporal 2005-2006 e 2012-2013, cujos valores foram 9343,45 e 11634,72 respectivamente. Observa-se também que o Índice de Sustentabilidade em escala de 0 a 100% aumentou quando comparamos o recorte temporal 2005-2006 e 2012-2013, cujos valores

foram 31,14 e 38,78 % respectivamente. A princípio este resultado indica que as ações promovidas pelos produtores foram efetivas. A tendência de aumento do Índice de Sustentabilidade considerando as médias ponderadas como valor de VPn ao longo do recorte temporal 2005-2006 e 2012-2013 segue a mesma tendência do Índice de Sustentabilidade calculado com a metodologia de Sobral, Almeida e Gomes (2012), porém estes valores são menores (31,14 e 38,78 %) e indicam maiores diferenças para atingir a sustentabilidade máxima (100%).

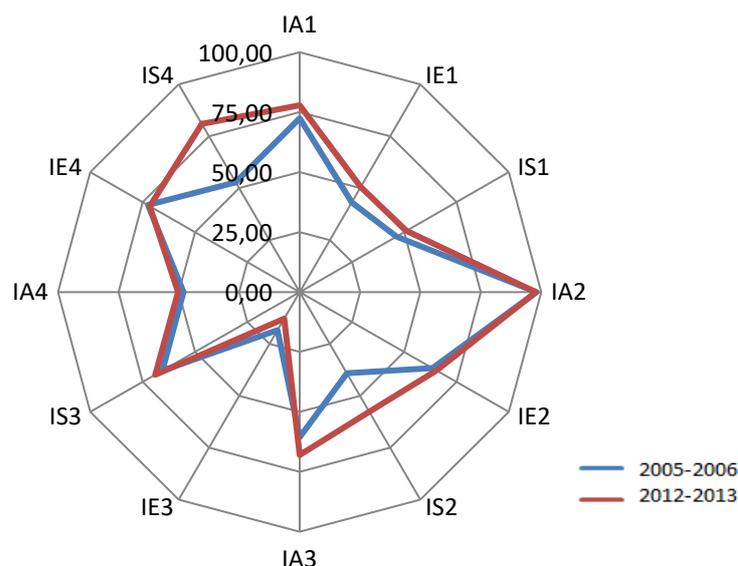


Figura 2. Radar (índice de sustentabilidade) da província de Almeria, Espanha (FACCIOLI, 2019).

Tabela 8. Índice de sustentabilidade (IS) considerando as médias ponderadas como valor de VPn, área mais limitante (AmL), Índice de sustentabilidade em escala de 0 a 100% (IS₀₋₁₀₀) para a província de Almeria, Espanha, nos recortes temporais de 2005-2006 e 2012-2013 (FACCIOLI, 2019).

Local	IS	AmL	IS ₀₋₁₀₀
Província de Almeria Espanha 2005-2006	9343,45	IA3/IE3	31,14
Província de Almeria Espanha 2012-2013.	11634,72	IA3/IE3	38,78

Assim, com o intuito promover o desenvolvimento sustentável a província de Almeria - Espanha, recomenda-se as seguintes ações: (i) como a escassez hídrica na região é acentuada recomenda-se que a totalidade das estruturas (invernaderos) possua sistema de captar água de chuva e que todos os produtores instalem controle do sistema de irrigação que também realizem o manejo da irrigação ou seja aplicar água na hora certa e na quantidade certa; (ii) recomenda-se que mais profissionais especializados (técnicos) realizem assistência aos produtores com o objetivo de maximizar a produção, porém essa assistência deverá ser subsidiada pelo governo ou atores sociais para não aumentar o custo de produção da atividade (irrigada em ambiente protegido); (iii) buscar formas de conseguir um preço melhor de venda da produção, ou seja, aumentar a rentabilidade deste processo produtivo, uma vez que este indicador se mostrou o mais distante da sustentabilidade (100%); (iv) incentivar o incremento da escolaridade dos produtores através de um sistema de ensino inserido na realidade local respeitando as particularidades deste sistema produtivo; e (v) incentivar e desenvolver pesquisas científicas direcionadas a elaboração de novas tecnologias sociais hídricas de

desenvolvimento e convivência com a escassez hídrica, bem como a preservação e conscientização dos usos dos recursos naturais da região.

32.11 Considerações finais

No decorrer da história da humanidade, as formas de interação entre o ser humano e a natureza foram alteradas principalmente a partir do desenvolvimento da ciência e da tecnologia que resultaram no surgimento de inovações nos meios de produção. Pode-se considerar que os impactos das ações antrópicas nos recursos naturais são notáveis e contínuos haja vista que são percebidos através do desflorestamento, poluição do ar, na contaminação da água e do solo que colocam em risco à sobrevivência dos seres vivos.

A partir das considerações expostas, é indispensável destacar que a criação dos acordos internacionais é fundamental a mitigação dos impactos ambientais, visto que é necessária a participação de todas as nações e de todos os membros da sociedade para se atingir o objetivo comum e global que consiste na formação de um mundo marcado por uma boa qualidade de vida para todos articulado a sustentabilidade do planeta.

A partir desta perspectiva o conhecimento do índice de sustentabilidade para a agricultura irrigada busca também subsidiar o poder público no processo de intervenção, dando autonomia para estes atores sociais atuarem de forma mais incisiva e precisa, favorecendo assim, a tomada de decisão e a elaboração de políticas públicas voltadas para as particularidades e sustentabilidade da agricultura irrigada.

Referências

- ABADIA, R.; ROCAMORA, C.M.; RUIZ, A.; PUERTO, H. Energy efficiency in irrigation distribution networks. I: Theory. **Biosystem Eng.**, v.101, p.21-27, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas**. ANA, 2011.
- BARBOSA, G.S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, v.1, n.4, 2008.
- BENETTI, L. **Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (Ids) do município de Lages (SC) através do método do painel de sustentabilidade**. 2006. Tese (Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, julho de 2006.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. Ed. Brasília, 2004. 408p.
- BRASIL. Relatório Nacional voluntário sobre os objetivos de desenvolvimento sustentável. Secretaria de Governo da presidência da república. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, Brasília: Presidência da República, 76p., 2017.
- BRUSEKE, F.J. **A Modernidade técnica: contingência, irracionalidade e possibilidade**. Florianópolis: Insular, 288p., 2010.
- CALORIO, C.M. **Análise de sustentabilidade em estabelecimentos agrícolas familiares no vale do Guaporé, MT**. 1997. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá: FAMV/UFMG, 1997.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, CMMAD, 1991.
- CÓRCOLES, J.I.; DE JUAN, J.A.; ORTEGA, J.F.; TARJUELO, J.M.; MORENO, M.A. Evaluation of irrigation systems by using benchmarking techniques. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.138, n.3, p.225-234. 2012.

- CÓRCOLES, J.I.; ORTEGA, J.F.; MORENO, M.A.; TARJUELO, J.M.; DE JUAN, J.A. Management evaluation of water users' associations by using benchmarking techniques. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1-11. 2010.
- CUELLAR, A.S. Antropoceno: Una mirada desde la historia humana y la ética ambiental. **Revista Colombiana de Bioética**, v.12, n.1, p.55-63, 2017.
- CUNHA, M.M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**. 2019. Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.
- DUPAS, G. O mito do progresso. **Novos estudos**, CEBRAP, p.73-89, 2007.
- EDERRA, I.; LARRUMBE, P. Primera fase de del proyecto de eficiencia energética en los regadíos de Navarra. In: 25TH CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS, Pamplona, Spain. 2007.
- FACCIOLI, G.G. Relatório de Pós-Doutorado realizado na Universidade de Sevilla - Espanha apresentado a Universidade Federal de Sergipe referente à pesquisa.
- FRANÇA, L.P. **Indicadores ambientais urbanos**: revisão da literatura. *Parceria* 21, 2001.
- GARCÍA, M.C.G.; LÓPEZ, A.J.C.; PARRA, J.J.P.; MÍNGUEZ, P.L. **El sistema de producción hortícola protegido de la provincia de Almería**. Edita: IFAPA. 2016.
- GUIMARÃES, R.P.; FEICHAS, S.A.Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v.12, n.2, p.307-323, 2009.
- HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators**: a systematic approach to measuring and reporting on Environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington, DC: Word Resources Institute, 1995.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio: Relatório Nacional de Acompanhamento/ Coordenação: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos; supervisão: Grupo Técnico para o acompanhamento dos ODM. Brasília, Ipea, 208p., 2014.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. **A irrigação no Brasil**: situação e diretrizes. Ministério da Integração Nacional. IICA, 132p., 2008.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Ahorro y eficiencia energética en las Comunidades de Regantes. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid, IDAE. 2008.
- LEITE, D.T.D.S. **Indicadores de sustentabilidade: subsídios para o gerenciamento da logística reversa de pós-consumo de pneus inservíveis no município de Aracaju, SE**. 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A.P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa. 3. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- MALANO, H.; BURTON, M. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. 2001.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação princípios e métodos**. 3. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.
- MENDONÇA, N.V. **Sustentabilidade e usos múltiplos da água da barragem Poção da Ribeira, SE. Aracaju, SE**. 2013. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Sergipe. UFS. Prodema, 2013.
- MITCHELL, G. **Problems and Fundamentals of sustainable development indicators**. 1997. Disponível em: <http://www.lec.leeds.ac.uk/people/Gordon.html>. Acesso em: 28 jan. 2017.
- MOURA, L.G.V. **Indicadores para avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção da agricultura familiar**: o caso dos fumicultores de Agudo, RS. n.18, 2002. Dissertação (Programa de pós-graduação em Desenvolvimento Rural) – PGDR - Porto Alegre, 2002.

- NAVES, J.G.P.; BERNARDES, M.B.J. A relação histórica homem/natureza e sua importância no enfrentamento da questão ambiental. **Geosul**, Florianópolis, v.29, n.57, p.7-26, 2014.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. Core set of indicators for environmental performance reviews; a synthesis report by the group on the state of the environment. Paris: OECD, 1993.
- PÉREZ, L.; RODRÍGUEZ, J.A.; CAMACHO, E.; ALCALDE, M. Metodología para el cálculo de indicadores de gestión en zonas regables. In: XXII CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS. Logroño, 15-17 de junio. 2004.
- PHILIPPI JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T.F.; AGUIAR, A.O. Indicadores de desenvolvimento sustentável. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, p.761-808, 2005.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Acompanhando a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**: subsídios iniciais do Sistema das Nações Unidas no Brasil sobre a identificação de indicadores nacionais referentes aos objetivos de desenvolvimento sustentável/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Brasília: PNUD, 291p., 2015.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Nobel/Fundap, 1993.
- SANTOS FILHO, A.A. **Crise ambiental moderna**. Um diagnóstico interdisciplinar. Porto Alegre: Ltda. 142.p., 2015.
- SANTOS, E.L.; BRAGA, V.; SANTOS, R.S.; BRAGA, A.M.S. Desenvolvimento: um conceito multidimensional. *Desenvolvimento Regional em Debate*. Ano 2, n.1, p.44-61. jul. 2012.
- SANTOS, J.M.C. **Sistema de controle de irrigação baseado em linguagem Java**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações) - Universidade de Aveiro, 2009.
- SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices Versus Indicadores: Precisoões conceituais na discussão da sustentabilidade de Países. **Revista Ambiente e Sociedade**, Campinas v.10, n.2, p.137-148, 2007.
- SILVA, S.S.F.; SANTOS, J.G.; CÂNDIDO, G.A.; RAMALHO, A.M.C. Indicador de sustentabilidade pressão - estado - impacto - resposta no diagnóstico do cenário socio ambiental resultante dos resíduos sólidos urbanos em Cuité, PB. **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v.2, n.3, Ed. Especial Rio +20, p.76-93, 2012.
- SOBRAL, I.S.; ALMEIDA, J.A.P.; GOMES, L.J. **Indicadores de sustentabilidade e ecologia da paisagem**: Planejamento e gestão ambiental em assentamentos de reforma agrária. Novas edições acadêmicas, 2012.
- SOGLIO, F.D.; KUBO, R.R. Desenvolvimento, agricultura e sustentabilidade. Porto Alegre: UFRGS, 206p., 2016.
- TAYRA, F.; RIBEIRO, H. Modelos de indicadores de sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Revista Saúde e Sociedade**, v.15, n.1, p.84-95, 2006.
- UNITED NATIONS. Report of the United Nations Conference on Sustainable Development. 92p., 2012.
- UNITED NATIONS. Report of the World Commission on Environment and Development. 374p., 1987.
- UNITED NATIONS. Report of the World Summit on Sustainable Development. 173p., 2002.
- VAN BELLEN, H.M. **Indicadores de Sustentabilidade**: uma análise comparativa. Tese (Doutorado Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Produção) - Universidade de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, novembro de 2002.
- VEIGA, J.E.; ZATZ, L. **Desenvolvimento sustentável, que bicho é esse?** Campinas, SP: Autores Associados, 2008.

VIEIRA, P.M.S.; STUDART, T.M.C. Proposta metodológica para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidro - ambiental de áreas serranas no semiárido brasileiro - estudo de caso: Maciço de Baturité, Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.14, n.4, p.125-136, 2009.

VIOLA, E.; BASSO, L. O sistema internacional no antropoceno. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v.31, n.92, p.2-18, 2016.

POSFÁCIO

A Universidade de São Paulo – USP, através da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ao publicar *Diferentes Abordagens Sobre Agricultura Irrigada no Brasil*, abordando história, política pública, economia, recurso hídrico, técnica e cultura, além de unir textos produzidos pelos mais qualificados profissionais envolvidos nos respectivos temas, presta dupla e relevantes homenagens: Comemora os 120 anos de criação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, responsável pela formação de excelentes profissionais, pesquisadores e especialistas na área da agricultura, verdadeira fábrica de conhecimento, e reconhece o extraordinário legado do Ex-Ministro Alysso Paolinelli.

Além de muito justas homenagens, visto que o Ex-Ministro Alysso Paolinelli foi incontestavelmente um dos maiores defensores da agricultura irrigada brasileira, demonstrado por toda sua vida profissional e política, o conteúdo do presente livro, elaborado com a contribuição de 100 autoridades no tema, trata-se de um verdadeiro instrumento de orientação aos profissionais que atuam no setor bem como os gestores públicos responsáveis pelas políticas e ações voltadas para a agricultura irrigada.

O Ministério do Desenvolvimento Regional, responsável pela Política Nacional de Irrigação, reconhece a dimensão e importância da atividade e os desafios postos no cenário atual, como promover a ampliação da área irrigada no Brasil, de 7 milhões de hectares, para 15 milhões de hectares nos próximos 30 anos. Para isso, o Ministério de Desenvolvimento Regional – MDR, tem atuado firmemente na celebração de importantes parcerias com os demais órgãos como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Pesca - Mapa, Embrapa, Conab, Incra, nossas coligadas, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, Codevasf, DNOCS, etc., no sentido de buscar as alternativas que permitam estabelecer os direcionamentos necessários ao desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil.

Recentemente, por meio de uma parceria com a Universidade Federal de Viçosa, foram iniciados os trabalhos para implantação do Sistema Nacional de Informações de Irrigação – SINIR, atendendo ao disposto na Lei 12.787, de 11/01/2013, plataforma que abrigará todo conteúdo relativo a localização das áreas irrigadas, dimensões, culturas, produção, responsáveis, etc., importante instrumento para orientar as decisões de governo bem como a iniciativa provada.

Por outro lado, o MDR vem atuando fortemente na estruturação da Segurança Hídrica, fundamental para uma irrigação sustentável, desenvolvendo estudos e projetos voltados para recuperação de bacias hidrográficas, nascentes de rios e mananciais, como a criação do projeto, também lançado recentemente, chamado “Águas Brasileiras”, com o objetivo de conscientizar a população sobre a necessidade de recuperar as nascentes das principais bacias hidrográficas brasileiras, garantindo a boa qualidade da água de nossos rios para as futuras gerações, ao mesmo tempo em que atraímos grandes empresas privadas para investir na recuperação de nascentes degradadas, bem como na sua manutenção, em troca da promoção da imagem no conceito de empresas que preservam e respeitam o meio ambiente.

O crescimento do agronegócio brasileiro decorrente do aumento da produtividade tem despertado os concorrentes das nações exportadoras de alimentos, fato que nos levará a observar com maior rigor o avanço da produção irrigada em áreas ambientalmente frágeis ou protegidas, como forma de mostrar a maturidade do produtor e do produto brasileiro, para melhorar as condições de competitividade nos mercados mais exigentes.

Outro grande desafio enfrentado pelo Brasil é o processo da melhora de gestão dos perímetros públicos irrigados, como alternativa para viabilizar as concessões e atrair

investimentos privados, na recuperação da infraestrutura e concluir as obras de implantação, oferecendo ao mercado novas áreas de produção.

Atento a esta realidade, desde 2020, editou-se a Portaria MDR 2.154, de 11/08/2020, para a estruturação de “Polos de Agricultura Irrigada”, o que possibilitou a implementação de 8 polos prioritários, envolvendo 119 municípios; viabilizando o recebimento de investimentos e o avanço no processo de melhoria da qualidade da produção agrícola, com a participação de irrigantes e investidores.

O sucesso de alguns projetos, como o perímetro Nilo Coelho, em Petrolina, nos leva a crer que o planejamento de novas áreas abertas para irrigação, beneficiando o Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A região abrangida por estes estados, conhecida como MATOPIBA, deverá ser responsável pela expansão da área de produção irrigada no Brasil para 10 milhões de hectares nos próximos anos.

Os desafios são muitos e as barreiras ainda são bastante fortes, mas sabemos que a segurança hídrica, aliada a uma adequada política de disseminação de novas tecnologias e ao ajuste e modernização da legislação ambiental – passando pela desburocratização do setor – permitirá o acesso a sistemas de produção de energias alternativas no campo. Estes fatores, alinhados, contribuirão definitivamente para melhorar a vida do produtor rural brasileiro, levar riquezas para o campo e tornar o Brasil uma potência na produção de alimentos, sem igual no mundo todo.

Daí a importância de iniciativas como esta, dos Organizadores, disseminando entre os acadêmicos e estudiosos do tema, e entre empresários, políticos e investidores, o potencial da agricultura. Honra-me os Organizadores com o convite para escrever este posfácio, onde proponho-me a mostrar, de modo singelo, a aplicação prática e o viés político-econômico de questão tão importante para o país e para o futuro da humanidade.

Não é novidade que um dos maiores desafios e incertezas do porvir é a alimentação e uma população mundial de 7 bilhões de habitantes e em crescimento exponencial. Em que pese o momento trágico que se vive hoje no mundo inteiro, com a pandemia do COVID 19, a expectativa é de que, superado este lamentável desafio global, retomemos o ritmo de crescimento de uma população cada vez mais longa, exigente e consciente. Encontrar e aplicar soluções para alimentá-la é uma missão da maior importância, confiada a mentes capazes e engajadas, como nossos homenageados.

Rogério Simonetti Marinho

Ministro do Desenvolvimento Regional

Klaus Reichardt

HOMENAGEM Recurso Hídrico



Klaus Reichardt, natural de Santos, São Paulo, Brasil, nasceu em 14 de dezembro de 1940. Em 1963, tornou-se Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Desenvolveu sua carreira acadêmica no Departamento de Ciências Exatas, passando por Doutorado em Agronomia (1965); Livre Docência em Física e Meteorologia (1968), Ph.D. em Ciência do Solo (1971), University of California (EUA) e; Professor Titular em Física e Meteorologia (1981). Paralelamente, atuou no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, também da Universidade de São Paulo, como Pesquisador do Laboratório de Física de Solos.

No âmbito nacional, destacou-se por seu intercâmbio com instituições como Embrapa, Unesp, Unicamp, diferentes Universidades Federais, CNPq, Capes e Fapesp, tendo orientado 84 alunos de pós-graduação (Mestrado e Doutorado) e publicado 296 trabalhos científicos.

Internacionalmente, Dr. Klaus se destacou junto à Universidade da Califórnia, (EUA); Agência Internacional de Energia Atômica (Áustria); Instituto de Mecânica de Grenoble (França); Universidade de Gent (Bélgica); Universidade de Viena (Áustria); Universidade de Praga (República Tcheca) e Instituto de Física Teórica (Itália). De 1982 a 1985, foi Chefe da Seção de Fertilidade de Solo, Irrigação e Nutrição de Plantas da Divisão Conjunta FAO/IAEA das Nações Unidas, em Viena (Áustria), o que o levou a atuar, também, como perito em física de solos na Tailândia em 1986.

Em 1991, foi indicado "Personalidade da Agricultura" pelo Sindicato dos Engenheiros do Estado de São Paulo, Brasil. Como colaborador da Enciclopédia Brasileira, recebeu o prêmio Jabuti (1996). Em 2001, recebeu do Governo do Estado de São Paulo a "Medalha de Mérito Científico". Pela edição do livro do centenário da Esalq/USP, recebeu o prêmio "Ciclo de História" (2002). Como reconhecimento de seu intercâmbio internacional, a *Soil Science Society of America* (SSSA) lhe conferiu em 2003, o título de *Fellow*. É titular da Academia Brasileira de Ciências na área de Ciências Agrárias desde 2006. Recebeu também o "Prêmio Fundação Bunge" nas áreas de Recursos Hídricos/Agricultura, em 2013. No mesmo ano, foi condecorado com a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Científico. Em 2014, por sua contribuição com a Esalq/USP e Cena/USP, que se localizam na cidade de Piracicaba, recebeu o título de Cidadão Piracicabano da Câmara de Vereadores, do qual tanto se orgulha.

Atualmente, aos 80 anos, é Professor Titular aposentado da Universidade de São Paulo; Professor Sênior junto ao Cena/USP e continua atuando como pesquisador e orientador junto ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Esalq/USP.

Merecedor de reconhecimentos por suas contribuições, nada mais justo do que a homenagem neste livro publicado como parte da Cátedra Luiz de Queiroz do período 2020/2021 e em comemoração aos 120 anos da Esalq/USP.

Alysson Paolinelli
Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani

RELAÇÃO DE AUTORES, CAPÍTULOS E E-MAILS

Id	Autor	Capítulo	E-mail
1	Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto	12/13	barretto.alberto@gmail.com
2	Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis	6	alessandra.chaves@aiba.org.br
3	Alysson Paolinelli	1	alysson.paolinelli@hotmail.com
4	Amarildo José Brumano Kalil	7	amarildo.kalil@emater.mg.gov.br
5	Ana Letícia Sbitkowski Chamma	12	anachamma@usp.br
6	Ana Maria Soares Valentini	7	anamariavalentini@gmail.com
7	Ana Sílvia Pereira Santos	29	ana.pereira@uerj.br
8	Antonio Alfredo Teixeira Mendes	3	alfredo@naandanjain.com.br
9	Antônio Felipe Guimarães Leite	2	antonio.leite@mdr.gov.br
10	Antônio Márcio Buainain	19	buainain@gmail.com
11	Archange Michael Illambwetsi	21	i.archange2@gmail.com
12	Arthur Nicolaus Fendrich	12/14	arthfen@gmail.com
13	Athadeu Ferreira da Silva	16	athadeu.ferreira@codevasf.gov.br
14	Aziz Galvão da Silva Júnior	17	aziz@ufv.br
15	Claudio Tomazela	4	ctairrig@uol.com.br
16	Daniel Althoff	26	daniel.althoff@ufv.br
17	Daniel Assumpção Costa Ferreira	27	daniel.ferreira@ana.gov.br
18	Demetrius David da Silva	22	demetrius@ufv.br
19	Durval Dourado Neto	1/12/13 14/19	ddourado@usp.br
20	Edson Eiji Matsura	23	matsura@unicamp.br
21	Eduardo Antônio Gomes Marques	21	emarques@ufv.br
22	Everardo Chartuni Mantovani	1/17	everardo@ufv.br
23	Fabício Lisboa Vieira Machado	29	fabricio.machado@meioambiente.mg.gov.br
24	Felipe Bernardes Silva	29	prof.felipe.silva@unincor.edu.br
25	Flávio Gonçalves Oliveira	20	flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com
26	Frederico Cintra Belém	2/12/15	frederico.belem@agricultura.gov.br
27	Frederico Orlando Calazans Machado	10	frederico.calazans@codevasf.gov.br
28	Gerson Cardoso Silva Júnior	21	gerson@acd.ufrj.br
29	Glauco Zely Silva Eger	21	glaucoeger@geologia.ufrj.br
30	Gregorio Guirado Faccioli	32	gregorioufs@gmail.com
31	Gustavo dos Santos Goretti	15	gustavo.goretti@agricultura.gov.br
32	Helvécio Mattana Saturnino	5	helvecio.ms@gmail.com
33	Hiran Medeiros Moreira	25	hiran.moreira@valmont.com

34	João Batista Ribeiro da Silva Reis	20	jbrsreis@epamig.br
35	João Gabriel Thomaz Queluz	24	jgtqueluz@gmail.com
36	João Rebequi	8	jbrebequi@gmail.com
37	José Lucas Safanelli	12	jose.lucas.safanelli@usp.br
38	Kevim Muniz Ventura	24	kevim.muniz@unesp.br
39	Klaus Reichardt	13/14	klaus@cena.usp.br
40	Liciana Alice Nascimento Peixoto	15	liciana.peixoto@agricultura.gov.br
41	Lineu Neiva Rodrigues	15/26	lineu.rodrigues@embrapa.br
42	Luciano Baião Vieira	7	lbaiao@ufv.br
43	Luiz Antônio Lima	28	lalima@ufla.br
44	Marcela Almeida de Araujo	12/13/14	marcela.araujo@usp.br
45	Marcelo da Fonseca	29	fonseca.marcelo@gmail.com
46	Marco Vinícius Castro Gonçalves	27	marco.goncalves@ana.gov.br
47	Marcus Schmidt	30	mschmidt@senninger.com.br
48	Maria Emília Borges Alves	9	maria.emilia@embrapa.br
49	Mariane Crespolini dos Santos	15	mariane.crespolini@agricultura.gov.br
50	Marília Carvalho de Melo	29	mariliacmelo@yahoo.com.br
51	Michel Castro Moreira	22	michelcm@ufv.br
52	Paulo Afonso Romano	7	pa.romano42@gmail.com
53	Pedro Abel Vieira Júnior	19	pedroabelvieira@gmail.com
54	Pedro Alves Quilici Coutinho	12/13	pedro.alves.coutinho@usp.br
55	Raimundo Rodrigues Gomes Filho	32	rrgomesfilho@hotmail.com
56	Ricardo Gava	18	ricardo.gava@ufms.br
57	Roberta Dallia Porta Grundling	19	robertagrundling0209@gmail.com
58	Rodrigo Fernando Maule	12/13/14	rmaule@usp.br
59	Rodrigo Máximo Sánchez Román	24	rodrigo.roman@unesp.br
60	Sandro Batista Santos Rodrigues	31	sandro.rodrigues@valmont.com
61	Sérgio Rodrigues Ayrimoraes	27	ssoares@ana.gov.br
62	Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima	11	silviocarlos@yahoo.com.br
63	Simone Beatriz Lima Ranieri	13/14	sblranieri@gmail.com
64	Tamara Maria Gomes	23	tamaragomes@usp.br
65	Tamires Lima da Silva	24	tamireslsilva@gmail.com
66	Thiago Henriques Fontenelle	12/27	thiago.fontenelle@ana.gov.br
67	Vagney Aparecido Augusto	9	vagney@hotmail.com
68	Valdemiro Simão João Pitoro	24	vpitoro@gmail.com



Alysson Paolinelli

Engenheiro Agrônomo (ESAL, 1959). Diretor da ESAL (1967-1971). Secretário de Agricultura do Estado de Minas Gerais (1971-1974). Ministro da Agricultura (1974-1979). Presidente do Banco do Estado de Minas Gerais (1979-1982). Presidente da Associação Brasileira de Bancos Comerciais Estaduais (Asbace) (1980-1982). Presidente da Fiat Allis Latino Americana (1982-1996 e 1998-2001). Deputado Federal (1987-1991). Presidente da Confederação Nacional de Agricultura do Brasil (CNA, 1988-1990). Presidente do Fórum Nacional de Agricultura (1992-1993). Presidente da Associação Brasileira dos Produtores de Milho (Abramilho, 2010-2015). Prêmio World Food Prize (2006). Indicado ao Prêmio Nobel da Paz (2021). Terceiro Titular da Cátedra Luiz de Queiroz (Esalq/USP, 2020-2022).



Durval Dourado Neto

Engenheiro Agrônomo (UFV, 1984). Especialização (Física do Solo, ICTP/Itália, 1989). Mestre (Irrigação e Drenagem, Esalq/USP, 1989). Doutor (Solos e Nutrição de Planta, Esalq/USP, 1992). Pós-Doutor (University of California/EUA, 1993-1995). Pesquisador CNPq (Nível 1A). Coordenador do Grupo de Políticas Públicas e do Laboratório de Modelagem Agrícola, Pecuária e Ambiental - Pixel. Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal. Diretor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.



Everardo Chartuni Mantovani

Engenheiro Agrícola (UFV, 1981). Mestre (Engenharia Agrícola, UFV, 1986). Doutor (Agronomia – Manejo da Irrigação, Universidad de Córdoba, 1993). Criou e coordenou por 20 anos o Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada – Gesai (DEA/UFV). Professor (desde 1983) Titular Sênior do Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. É o atual Presidente da ABID (Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem).



DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

História, Política Pública,
Economia e Recurso Hídrico

Em 2050 a população mundial será de 9,8 bilhões de pessoas aumentando a demanda global por produtos agropecuários, onde, o Brasil, segundo a FAO, é colocado como peça chave na oferta de alimentos. Neste cenário, a agricultura irrigada apresenta importante papel para a agricultura no país, seja para aumentar a oferta de produtos, seja para melhorar os níveis de produção, produtividade, renda e emprego. Além disso, a irrigação tem potencial para contribuir para a preservação dos biomas, ao reduzir a pressão pela expansão da fronteira agrícola pela via do aumento da produtividade das áreas em produção. No entanto, o Brasil, com grande potencial para adoção da agricultura irrigada, demanda por conhecimento e ações planejadas com capacidade de induzir o desenvolvimento sustentável. Este livro traz diferentes abordagens da agricultura irrigada no Brasil nos aspectos da história, legislação e política pública, economia e recurso hídrico, escrito por destacados profissionais de diversos setores dessa área, constituindo uma importante contribuição para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada brasileira e mundial.



DIFERENTES ABORDAGENS SOBRE AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico



Portal Monumental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo