



AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Recursos Hídricos e
Sustentabilidade



Alysson Paolinelli
Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani

ORGANIZADORES



ESALQ

USP

ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE
IRRIGAÇÃO E
DRENAGEM



Agricultura irrigada no Brasil: Recursos Hídricos e Sustentabilidade

ISBN: 978-65-87391-22-9

DOI: 10.11606/9786587391229

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

**Piracicaba, SP
2022**



Reitor - Prof. Dr. Carlos Gilberto Carlotti Junior

Vice-reitora - Profa. Dra. Maria Arminda do Nascimento Arruda



ESALQ

Diretor - Prof. Dr. Durval Dourado Neto

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

**Catálogo na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Agricultura irrigada no Brasil: recursos hídricos e sustentabilidade [recurso eletrônico] /
organização de Alysson Paolinelli, Durval Dourado Neto e Everardo Chartuni Mantovani. - -
Piracicaba : ESALQ; Viçosa : ABID, 2022

251 p. : il. (Cátedra Luiz de Queiroz)

ISBN: 978-65-87391-22-9

DOI: 10.11606/9786587391229

1. Agricultura irrigada - Brasil 2. Irrigação 3. Recursos hídricos 4. Sustentabilidade I. Paolinelli, A.
org. II. Dourado Neto, D., org. III. Mantovani, E. C., org. IV. Título V. Série

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



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ABID 2021/2023

Presidente: Everardo Chartuni Mantovani (UFV)

Vice-presidente: Antonio Alfredo Teixeira Mendes (NDJ)

Diretores:

Durval Dourado Neto (Esalq/USP)

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima (Inovagri)

Denizart Pirotello Vidigal (Irrigazine-FIIB)

Ricardo Gava (UFMS)

Fernando Braz Tangerino Hernandez (Unesp)

Rodrigo Ribeiro Franco Vieira (Codevasf)

Lineu Neiva Rodrigues (Embrapa)

Catariny Cabral Aleman (UFV)

Maria Emília Borges Alves (Embrapa)

Flávio Gonçalves de Oliveira (UFMG)

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. Everardo Mantovani; 2. Everardo Mantovani; 3. 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 A OBRA “AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL” 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, nessa ocasião, 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 período de 1974 a 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 e 2022, 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 121 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. Carlos Gilberto Carlotti Junior

Reitor da Universidade de São Paulo

3 de junho de 2022

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 descurar, 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 2021 e 2022, 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 coleção de cinco livros da **OBRA** intitulada **AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL** é a Edição Revisada e Atualizada dos livros “Diferentes abordagens sobre Agricultura Irrigada no Brasil: História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico”, e “Diferentes abordagens sobre Agricultura Irrigada no Brasil: Técnica e Cultura”, cujos títulos são:

- Agricultura Irrigada no Brasil: história e economia
- Agricultura Irrigada no Brasil: políticas públicas
- Agricultura Irrigada no Brasil: recursos hídricos e sustentabilidade
- Agricultura Irrigada no Brasil: ciência e tecnologia
- Agricultura Irrigada no Brasil: inovação, empreendedorismo e sistemas de produção

Este **LIVRO** intitulado **Agricultura Irrigada no Brasil: recursos hídricos e sustentabilidade** foi organizado em 14 **CAPÍTULOS**, 235 páginas (além de outras 30 páginas na parte pré-textual), contemplando 39 **AUTORES** de diferentes instituições públicas e privadas, assim discriminados:

CAPÍTULO 1. Modelagem hidrogeológica aplicada ao aquífero Urucuia: estudo de caso por *Eduardo Antônio Gomes Marques, Gerson Cardoso Silva Júnior, Glauco Zely Silva Eger e Archange Michael Illambwetsi*

CAPÍTULO 2. Gestão de recursos hídricos no Brasil no contexto da agricultura irrigada por *Demetrius David da Silva e Michel Castro Moreira*

CAPÍTULO 3. Água de reúso na agricultura irrigada por *Edson Eiji Matsura e Tamara Maria Gomes*

CAPÍTULO 4. 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 5. Irrigação e sua fundamental importância por *Hiran Medeiros Moreira*

CAPÍTULO 6. Pequenas barragens na agricultura irrigada por *Lineu Neiva Rodrigues e Daniel Althoff*

CAPÍTULO 7. 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 8. Uso de água subterrânea na agricultura irrigada por *Luiz Antônio Lima*

CAPÍTULO 9. 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 10. Uma análise da irrigação por aspersão no Brasil por *Marcus Schmidt*

CAPÍTULO 11. Manejo profissional da irrigação: aspectos gerais e análise das culturas do feijão, milho, soja e algodão por *Sandro Batista Santos Rodrigues*

CAPÍTULO 12. Índice de sustentabilidade: contribuições das ciências ambientais na agricultura irrigada por *Gregorio Guirado Faccioli e Raimundo Rodrigues Gomes Filho*

CAPÍTULO 13. Utilização de efluentes domésticos em agricultura irrigada por *Petterson Costa Conceição Silva, Paulo Vitor Santa Rosa Silva, Alide Mitsue Watanabe Cova, Mairton Gomes da Silva, Thainan Sipriano dos Santos, Vital Pedro da Silva Paz e Hans Raj Gheyi*

CAPÍTULO 14. Gestão de água nas bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá por *Marcos Vinícius Folegatti e Claudia Moster*

Esta coleção de livros 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 Paolinelli 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 Paolinelli.

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.

Esta obra foi lançada nas comemorações do aniversário (3 de junho de 2022) de 121 de anos da 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 Dr. 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 da primeira edição 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.

Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani

OS AUTORES

1. 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).

2. Alide Mitsue Watanabe Cova. Engenheira Agrônoma pela UFRB (2010), Mestre em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas pela UFC (2012), Doutora em Engenharia Agrícola pela UFRB (2016). Atua em estudos com ênfase em manejo de resíduos sólidos industriais na agricultura e culturas submetidas ao estresse salino.

3. 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.

4. Claudia Moster. Doutora em Ecologia Aplicada (2018), Mestre em Recursos Florestais (2007) e Graduada em Engenharia Florestal (2003) pela USP. Professora Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais do Instituto de Florestas da UFRRJ. Pesquisadora e coordenadora do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas. Atua nas áreas de hidrologia florestal e serviços ecossistêmicos, com ênfase em: indicadores hidrológicos, modelagem ecológica, segurança hídrica e educação ambiental.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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).

14. 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.

15. Hans Raj Gheyi. Graduado em Agricultura pela University of Udai Pur (1963), Mestre em Ciências do Solo pela Punjab Agricultural University (1965), Doutor em Ciências Agronômicas pela Université Catholique de Louvain (1974). Tem experiência nas áreas de salinidade, irrigação, fertilidade, relação solo água planta, estresse salino, déficit hídrico, qualidade de água e reúso da água.

16. 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.

17. 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 Agronômicas (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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Mairton Gomes da Silva. Tecnólogo em Irrigação e Drenagem pelo IFCE (2012), Mestre em Engenharia Agrícola pela UFRB (2014), Doutor em Engenharia Agrícola pela UFRB (2019). Tem desenvolvido pesquisas sob cultivo hidropônico com diversas espécies utilizando águas residuárias e salobras como aporte hídrico.

22. 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.

23. 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.

24. Marcos Vinícius Folegatti. Professor titular, Colaborador Sênior do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Esalq/USP. Pesquisador 1A do CNPq - Engenharia Agrícola. Primeiro coordenador da CT-Rural-Câmara Técnica de Uso e Conservação da Água no Meio Rural do CBH-PCJ (2005-2007).

25. 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.

26. 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".

27. 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.

28. Paulo Vitor Santa Rosa Silva. Engenheiro Sanitário e Ambiental pela UFRB (2016), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UEFS (2020) e Doutorando em Engenharia Agrícola pela UFRB. Atua principalmente nos seguintes temas: salinidade do solo, reúso de efluentes e uso de águas salobras para agricultura.

29. Petterson Costa Conceição Silva. Engenheiro Agrônomo pela UFRB (2012), Especialista em Agronomia pela Faculdade Dom Alberto (2021), Mestre em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas pela UFC (2015), Doutor em Engenharia Agrícola pela UFRB (2020). Atua em estudos relacionados às respostas das plantas em resposta cultivadas em condições hostis.

20. 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".

31. 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, reúso de água, SODIS, modelagem, recursos hídricos, dinâmica de sistemas.

32. 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.

33. 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.

34. 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.

35. Tamires Lima da Silva. Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) na Faculdade de Ciências Agrônômicas, 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.

36. Thainan Sipriano dos Santos. Técnica em Alimentos pelo IF Baiano (2013) e Estudante de graduação em Agronomia pela UFRB. Atualmente, realiza estudos relacionados com o cultivo de plantas em sistemas hidropônicos com estresses combinados.

37. 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.

38. 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 reúso na agricultura.

39. Vital Pedro da Silva Paz. Engenheiro Agrícola pela UFPB (1984), Especialista em Engenharia de Irrigação pela UFPB (1986), Mestre em Engenharia Agrícola pela UFV (1990), Doutor em Agronomia pela USP (1995). Atualmente é Professor Titular da UFRB e tem experiência em Irrigação e Drenagem, atuando nas áreas de irrigação, relação solo água planta, qualidade de água e reúso da água.

ORGANIZAÇÃO



ESALQ

USP



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

Apoio



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PREFÁCIO

A agricultura irrigada necessita de uma combinação de fatores primordiais como água, energia, terras disponíveis e de qualidade, clima favorável, culturas com mercado promissor e uma logística moderna. Em regiões áridas e semiáridas, o principal limitador, na maioria das vezes é a disponibilidade hídrica. Nesse sentido, o recurso hídrico tem um papel fundamental na expansão de áreas visando o desenvolvimento econômico com sustentabilidade. A escolha do que se produzir também é um ponto importante, tanto no menor consumo de água, como na geração de emprego e renda. Em geral, os cultivos que propiciam maior receita bruta, resultam em uma maior quantidade e em melhores empregos, pois exigem maior dedicação ao processo produtivo e conhecimento tecnológico.

Este livro apresenta um conteúdo importante para o tema: recursos hídricos e sustentabilidade com foco na agricultura irrigada. Com a colaboração de uma seleção de autores de renome nacional e internacional, a publicação traz em seu primeiro capítulo um estudo de caso de uma modelagem hidrológica aplicada ao aquífero Urucuia. No seguinte, a gestão de recursos hídricos no Brasil no contexto da agricultura irrigada é discutida. Continua com água de reúso na agricultura irrigada e depois versa sobre alternativas de sistemas de tratamento de água residuária para reúso na fertirrigação de hortaliças em cultivo convencional e vertical.

A irrigação e sua fundamental importância é o foco do quinto capítulo e, na sequência, explica como as pequenas barragens na agricultura irrigada desempenham papel estratégico, servindo como reservatórios que fornecem água para os diversos usos, aumentando a disponibilidade hídrica durante o período de estiagem. No sétimo capítulo, um panorama das áreas irrigadas e do uso da água pela agricultura irrigada no Brasil é o foco. Seguindo o tema inicial, a água subterrânea volta à tona no capítulo oito e, no nono, tem-se uma boa discussão sobre a irrigação na perspectiva da gestão das águas e ambiental.

Uma análise da irrigação por aspersão é tratada no décimo capítulo e, o décimo primeiro, demonstra como as culturas: feijão, milho, soja e algodão podem ter um manejo profissional da irrigação. As contribuições das ciências ambientais na agricultura irrigada por meio de índice de sustentabilidade são discutidas no décimo segundo capítulo e, no último, que a utilização de efluentes domésticos em agricultura irrigada é viável e pode promover eficiência no uso da água.

Acredito, portanto, que o excelente material contido nesta obra pode contribuir para uma agricultura irrigada no Brasil com sustentabilidade no uso da água, inserindo inovação tecnológica no processo produtivo e promovendo o desenvolvimento econômico no setor agrícola.

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Secretário Executivo do Agronegócio do Governo do Estado do Ceará
Diretor da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem - ABID

AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Recursos Hídricos e Sustentabilidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1		
1	Modelagem hidrogeológica aplicada ao aquífero Urucua: estudo de caso	1
	<i>Eduardo Antônio Gomes Marques, Gerson Cardoso Silva Júnior, Glauco Zely Silva Eger e Archange Michael Illambwetsi</i>	
	Resumo	1
1.1	Introdução	1
1.2	Motivações do estudo	3
1.3	Área de estudo	3
1.4	Etapas do estudo	5
1.5	Levantamento de dados	6
1.6	Inventário de poços	6
1.7	Apresentação e caracterização dos dados existentes nas diversas bases de dados	6
1.8	Processamento dos dados pré-existent	9
1.9	Características geológicas e o modelo geológico conceitual	12
1.10	Análise e discussão de parâmetros hidráulicos do SAL: resultados de testes de bombeamento realizados no estudo	14
1.11	Modelo hidrogeológico numérico	19
1.12	Avaliação dos resultados	20
1.13	Considerações finais	21
	Referências	23

CAPÍTULO 2		
2	Gestão de recursos hídricos no Brasil no contexto da agricultura irrigada	27
	<i>Demetrius David da Silva e Michel Castro Moreira</i>	
	Resumo	27
2.1	Introdução	27
2.2	Disponibilidade hídrica superficial no Brasil	28
2.3	Demandas hídricas e usos múltiplos da água no Brasil	30
2.4	Política Nacional de Recursos Hídricos	32
2.5	Política Nacional de Irrigação	40
2.6	Considerações finais	41
	Referências	42

CAPÍTULO 3		
3	Água de reúso na agricultura irrigada <i>Edson Eiji Matsura e Tamara Maria Gomes</i>	45
	Resumo	45
3.1	Introdução	45
3.2	A legislação brasileira para reúso da água na agricultura	46
3.3	Características dos efluentes tratados para a agricultura irrigada	49
3.4	Produção e qualidade da cultura, estado nutricional e o solo com irrigação de efluente tratado	52
3.5	A sustentabilidade do reúso de água na agricultura irrigada: desafios e perspectivas	55
3.6	Considerações finais	57
	Referências	57

CAPÍTULO 4		
4	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>	63
	Resumo	63
4.1	Introdução	63
4.2	Sistema de desinfecção solar para águas residuárias domésticas	64
4.3	Aumento da eficiência do sistema de desinfecção solar por meio da adição de doses de peróxido de hidrogênio	66
4.4	Aplicação na prática agrícola	67
4.5	Eficiência de alagados construídos no tratamento da água residuária	68
4.6	Combinação do sistema de desinfecção solar com leito biológico filtrante	70
4.7	Produção de hortaliças em sistema vertical de cultivo	71
4.8	Influências na produção utilizando o sistema vertical	72
4.9	Considerações finais	77
	Referências	77

CAPÍTULO 5		
5	Irrigação e sua fundamental importância <i>Hiran Medeiros Moreira</i>	81
	Resumo	81
5.1	Introdução	81
5.2	A crise hídrica	82
5.3	Importância da agricultura irrigada	83
5.4	Importância da irrigação no Brasil	84
5.5	Considerações finais	90
	Referências	90

CAPÍTULO 6

6	Pequenas barragens na agricultura irrigada	93
	<i>Lineu Neiva Rodrigues e Daniel Althoff</i>	
	Resumo	93
6.1	Introdução	93
6.2	Identificação e estabelecimento de relações entre cota e área-volume de pequenas barragens	96
6.3	Balço de água no reservatório	99
6.4	Infiltração	99
6.5	Evaporação	100
6.6	Avaliação do impacto de pequenas barragens na disponibilidade hídrica durante a estação seca	103
6.7	Aspectos legais a serem considerados na construção de pequenas barragens	103
6.8	Considerações finais	104
	Referências	105

CAPÍTULO 7

7	Panorama das áreas irrigadas e do uso da água pela agricultura irrigada no Brasil	109
	<i>Thiago Henriques Fontenelle, Daniel Assumpção Costa Ferreira, Marco Vinícius Castro Gonçalves e Sérgio Rodrigues Ayrimoraes</i>	
	Resumo	109
7.1	Introdução	109
7.2	Levantamentos de áreas irrigadas	110
7.3	Uso da água	113
7.4	Polos de agricultura irrigada	115
7.5	Caminhos para a segurança hídrica	118
7.6	Considerações finais	121
	Referências	122

CAPÍTULO 8

8	Uso de água subterrânea na agricultura irrigada	125
	<i>Luiz Antônio Lima</i>	
	Resumo	125
8.1	Introdução	125
8.2	Estudos geofísicos	127
8.3	Exploração da água subterrânea	127
8.4	Hidráulica da água subterrânea	130
8.5	Movimento de água em direção ao poço em aquífero sedimentar livre	131
8.6	Movimento de água em direção ao poço em aquífero confinado	132
8.7	Escolha da bomba	136
8.8	Método de Thiem (1906)	140
8.9	Método para poço em aquífero livre	140
8.10	Métodos para regime transiente	140
8.11	Considerações finais	146
	Referências	146

CAPÍTULO 9

9	A irrigação na perspectiva da gestão das águas e ambiental	149
	<i>Marília Carvalho de Melo, Felipe Bernardes Silva, Fabrício Lisboa Vieira Machado, Ana Sílvia Pereira Santos e Marcelo da Fonseca</i>	
	Resumo	149
9.1	Introdução	149
9.2	O cenário de Minas Gerais	150
9.3	Metodologia	152
9.4	Irrigação e uso do solo	153
9.5	Irrigação e quantidade de água	155
9.6	Irrigação e qualidade da água	156
9.7	Irrigação e a produtividade agrícola	159
9.8	Considerações finais	162
	Referências	162

CAPÍTULO 10

10	Uma análise da irrigação por aspersão no Brasil	165
	<i>Marcus Schmidt</i>	
	Resumo	165
10.1	Introdução	165
10.2	Caracterização dos sistemas de aspersão	165
10.3	Histórico da irrigação no Brasil	167
10.4	Irrigação de algumas culturas	169
10.5	Irrigação por aspersão e manejo	171
10.6	Considerações finais	173
	Referências	173

CAPÍTULO 11

11	Manejo profissional da irrigação: aspectos gerais e análise das culturas do feijão, milho, soja e algodão	175
	<i>Sandro Batista Santos Rodrigues</i>	
	Resumo	175
11.1	Introdução	175
11.2	Manejo da irrigação	177
11.3	Manejo da irrigação via planta	179
11.4	Manejo da irrigação via solo	180
11.5	Manejo da irrigação via clima (balanço hídrico)	182
11.6	Manejo profissional da irrigação	183
11.7	Análise das principais culturas irrigadas	184
11.8	Considerações finais	191
	Referências	191

CAPÍTULO 12

12	Índice de sustentabilidade: contribuições das ciências ambientais na agricultura irrigada	195
	<i>Gregorio Guirado Faccioli e Raimundo Rodrigues Gomes Filho</i>	
	Resumo	195
12.1	Introdução	195
12.2	Relação sociedade e natureza	196
12.3	A importância dos acordos internacionais nos processos de mitigação dos impactos socioambientais	197
12.4	Dimensões da sustentabilidade	199
12.5	Indicadores e índice de sustentabilidade	200
12.6	Indicadores relacionados a água e a agricultura irrigada	202
12.7	Uso da água	202
12.8	Uso de energia	203
12.9	Metodologias para determinação do índice de sustentabilidade	203
12.10	Aplicações da metodologia na agricultura irrigada	204
12.11	Considerações finais	211
	Referências	211

CAPÍTULO 13

13	Utilização de efluentes domésticos em agricultura irrigada	215
	<i>Petterson Costa Conceição Silva, Paulo Vitor Santa Rosa Silva, Alide Mitsue Watanabe Cova, Mairton Gomes da Silva, Thainan Sipriano dos Santos, Vital Pedro da Silva Paz e Hans Raj Gheyi</i>	
	Resumo	215
13.1	Introdução	215
13.2	Uso da água para irrigação	216
13.3	Uso de efluentes domésticos na agricultura e legislação vigente no Brasil	217
13.4	Composição química dos efluentes domésticos e seus impactos ambientais	219
13.5	Aplicação de efluentes com potencial fertilizante	223
13.6	Considerações finais	226
	Referências	227

CAPÍTULO 14		
14	Gestão de água nas bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá	231
	<i>Marcos Vinícius Folegatti e Claudia Moster</i>	
	Resumo	231
14.1	Introdução	231
14.2	A água como capital natural no contexto econômico de bacias hidrográficas	232
14.3	A influência da gestão hídrica do sistema Cantareira na bacia PCJ	235
14.4	A aplicação do instrumento de outorga em situação de crise hídrica para a bacia do Rio Piracicaba	238
14.5	Considerações finais	241
	Referências	241
	HOMENAGEM (Salassier Bernardo)	247
	Relação de Autores, Capítulos e E-mails	249
	Os Organizadores	251

CAPÍTULO 1

1 MODELAGEM HIDROGEOLÓGICA APLICADA AO AQUIFERO 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.

1.1 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.

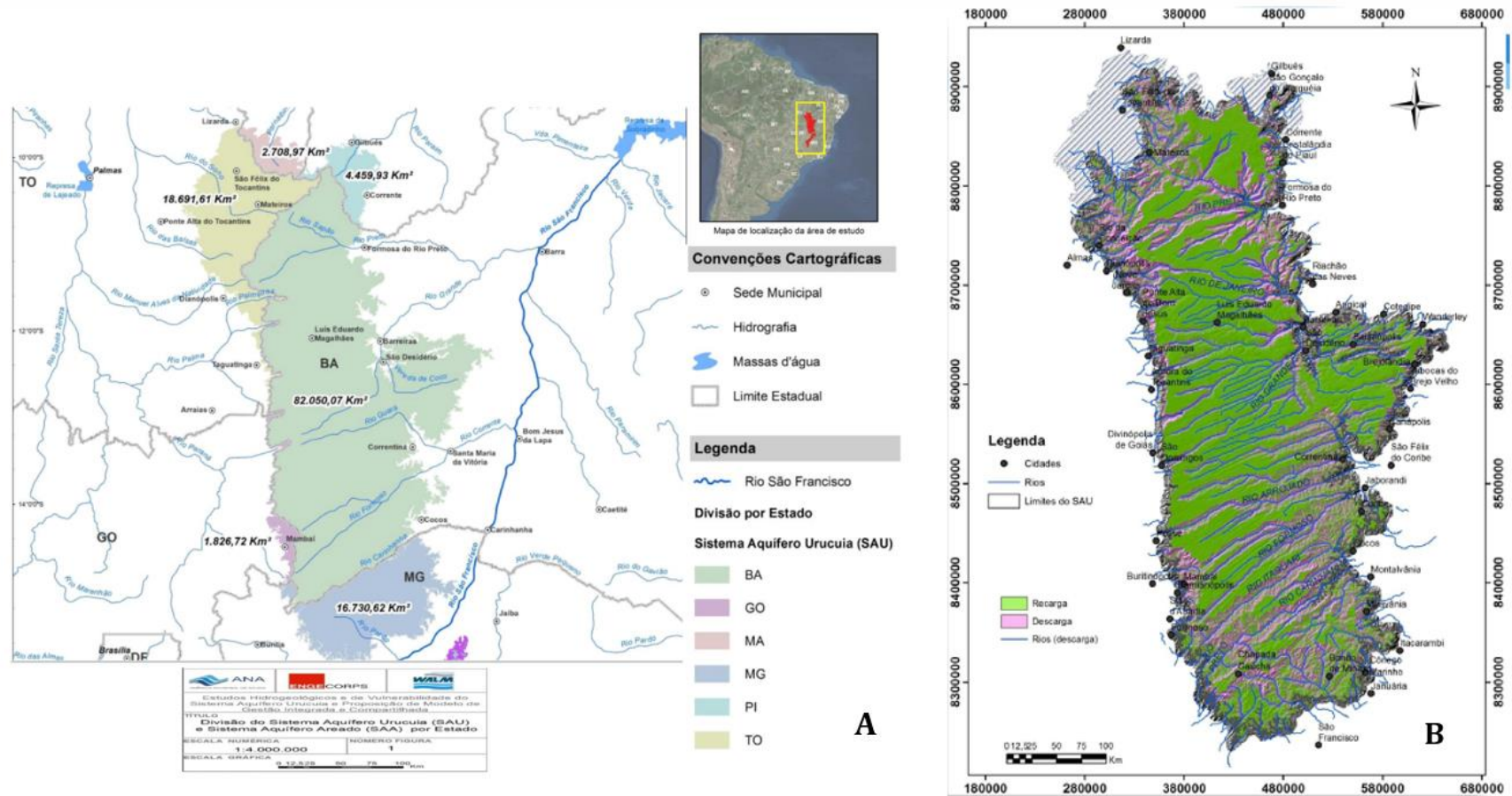


Figura 1. Mapas mostrando: (A) Localização e área total do SAU e detalhe de sua porção em cada estado; (B) Principais drenagens do SAU e áreas de recarga e descarga do aquífero (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

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 hidráulicamente 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.

1.2 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.

1.3 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.

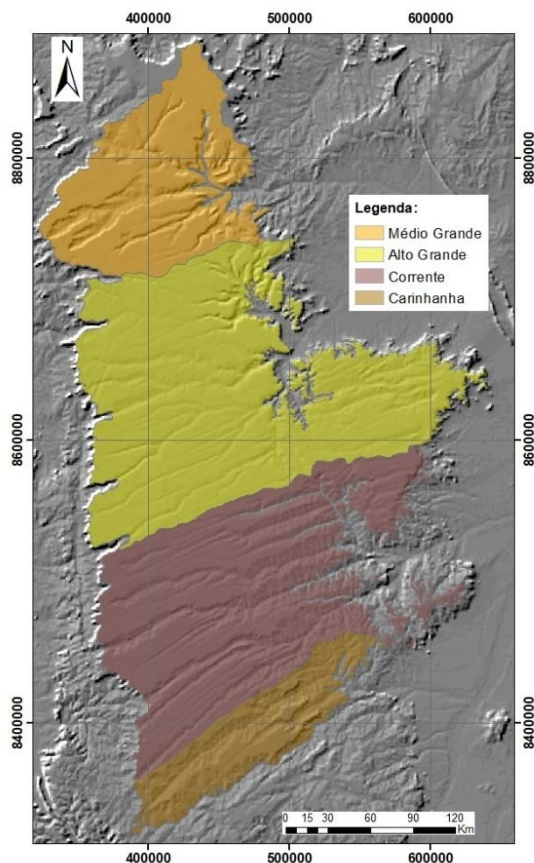


Figura 2. Subáreas adotadas para a realização das simulações do SAU, segundo as bacias hidrográficas da região de estudo: rios Alto Grande, Médio Grande, Corrente e Carinhanha.

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.

1.4 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.

1.5 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.).

1.6 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.

1.7 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.

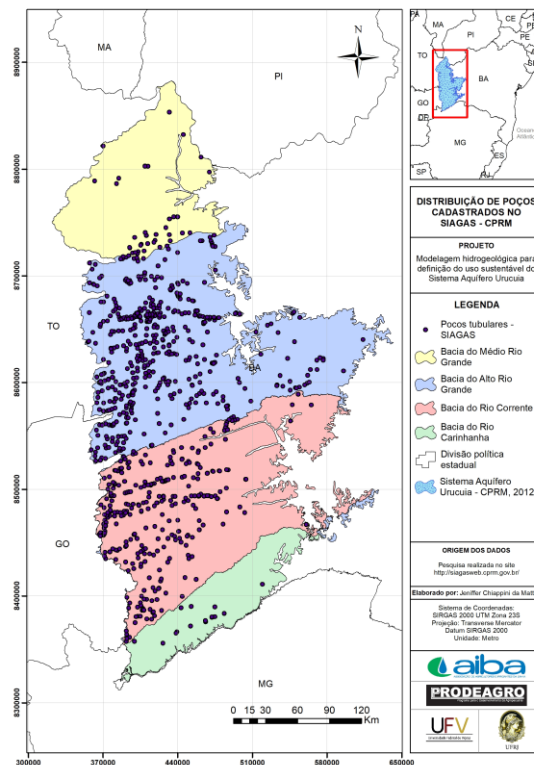


Figura 3. Mapa com os poços cadastrados no SIAGAS, em relação às três bacias hidrográficas principais da área de estudo – Grande (ao Norte, em Verde claro), Corrente (ao Centro, em verde) e Carinhanha (ao Sul, em rosa).

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 completas 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.

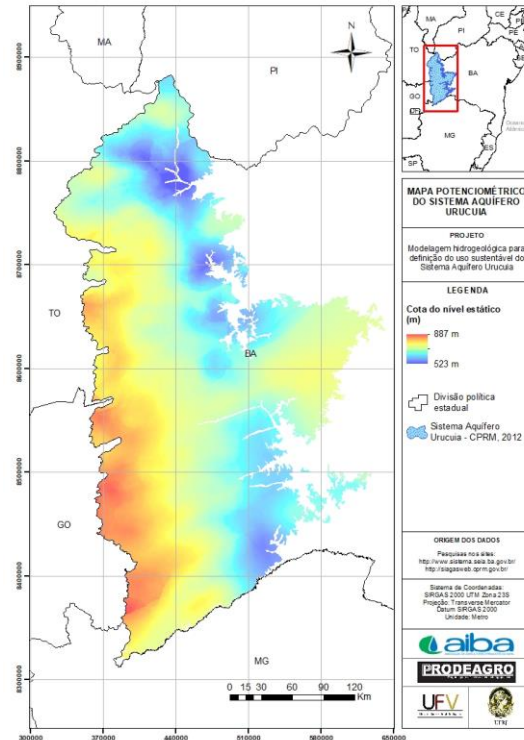


Figura 4. Mapa da interpolação da potencimetria do Aquífero Urucuia e a partir de poços cadastrado no SIAGAS com informações para o cálculo da Carga Hidráulica.

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.

1.8 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.

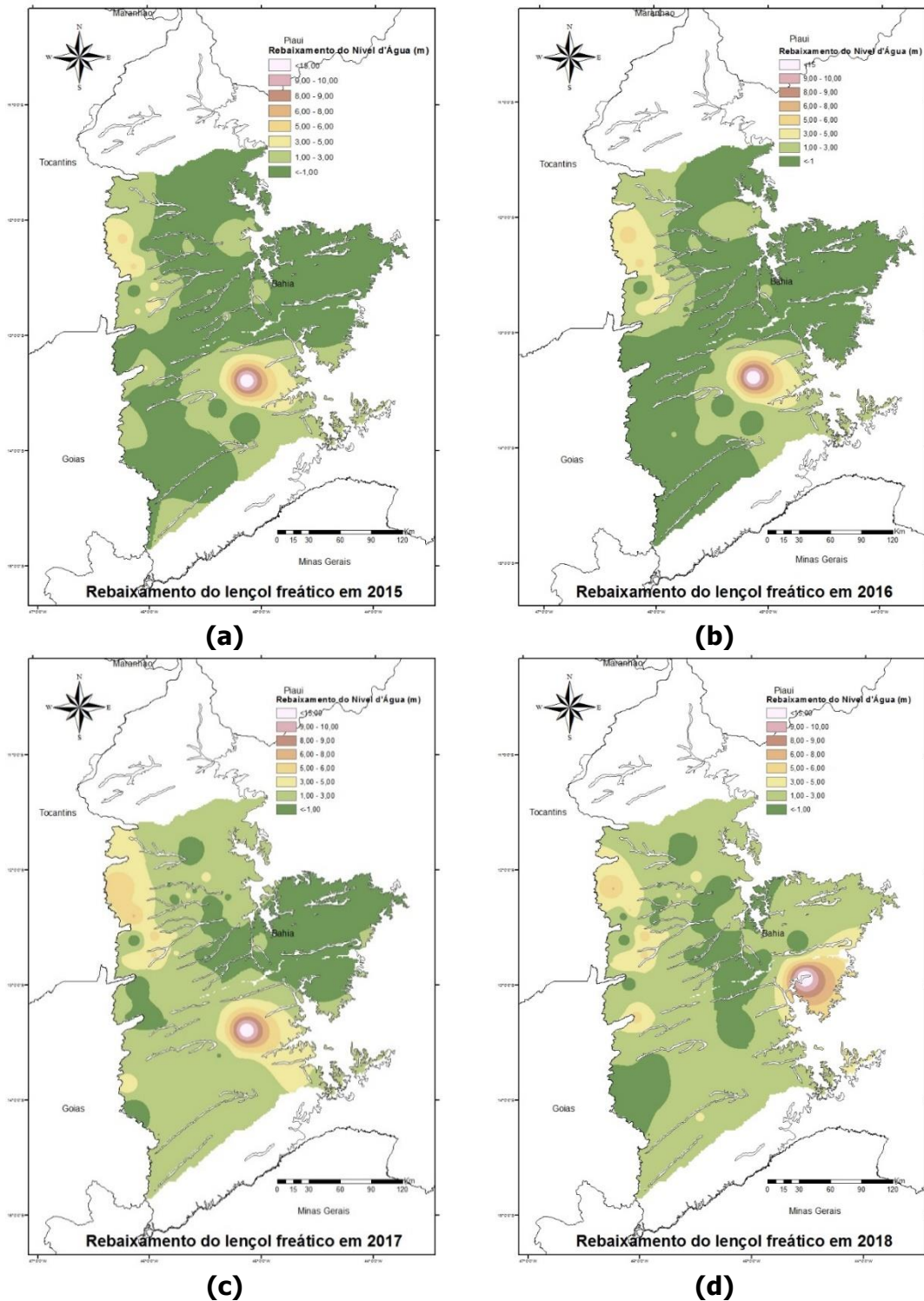


Figura 5. Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia do rio Corrente e Alto rio Grande, para o período 2015 a 2018.

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.

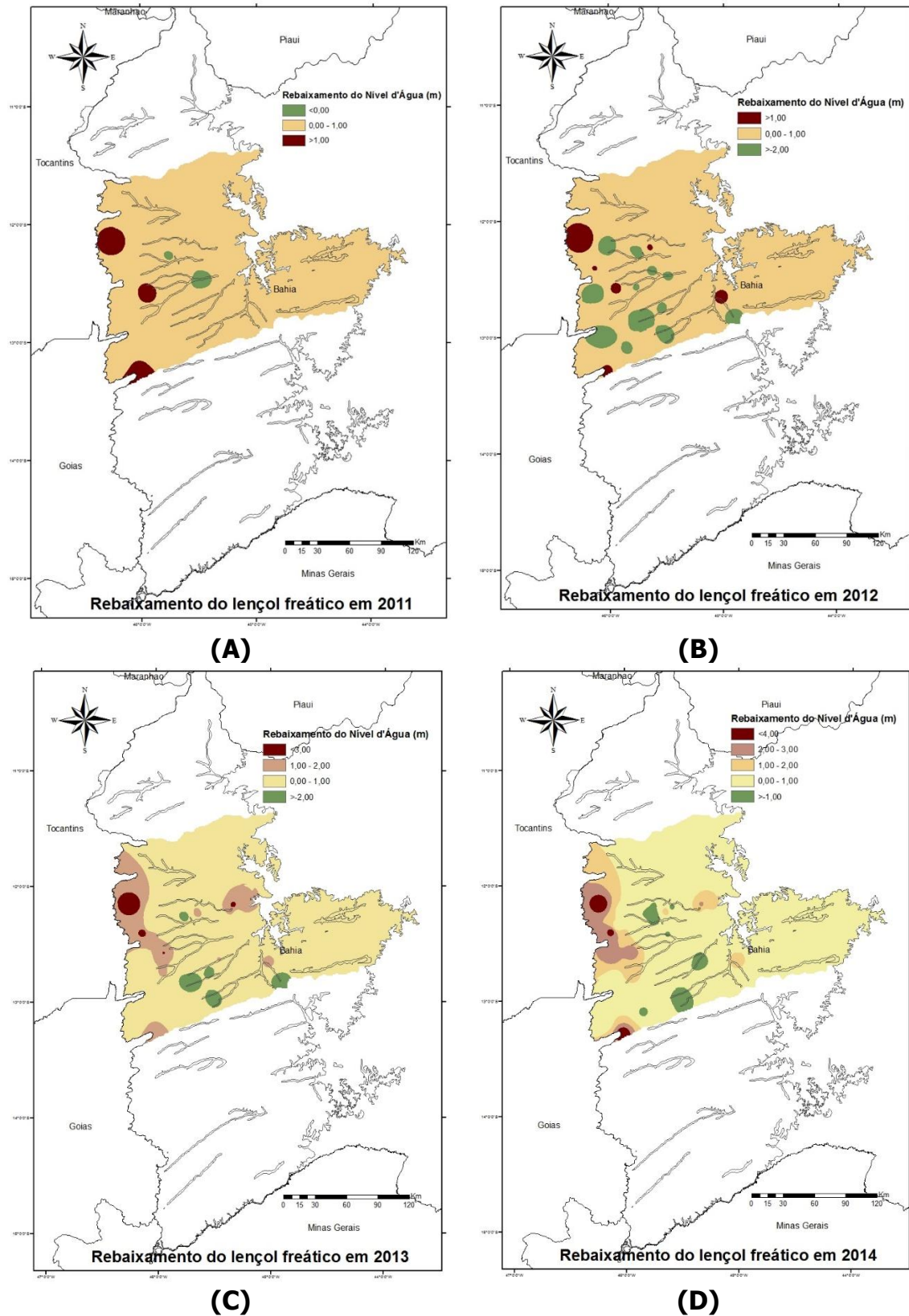


Figura 6. Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia alto Rio Grande em (A) 2011, (B) 2012, (C) 2013 e (D) 2014.

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.

1.9 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 aquelas 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).

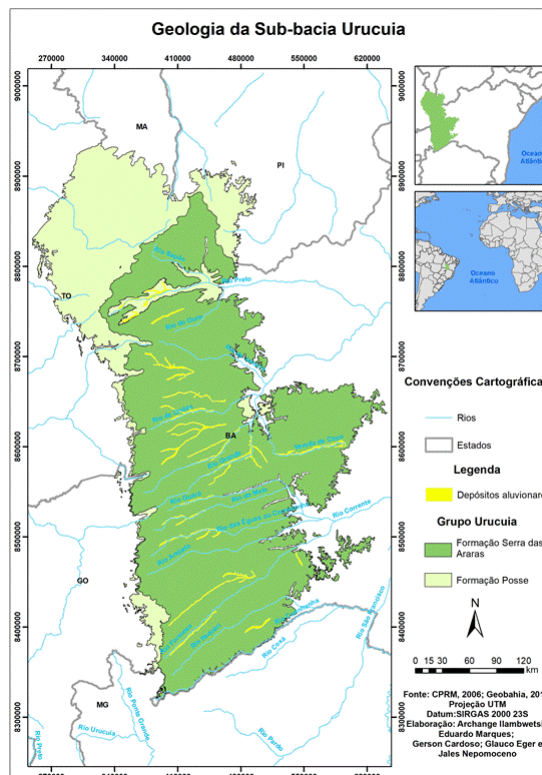


Figura 7. Mapa de localização das unidades constituintes do grupo Urucuia.

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.

1.10 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.

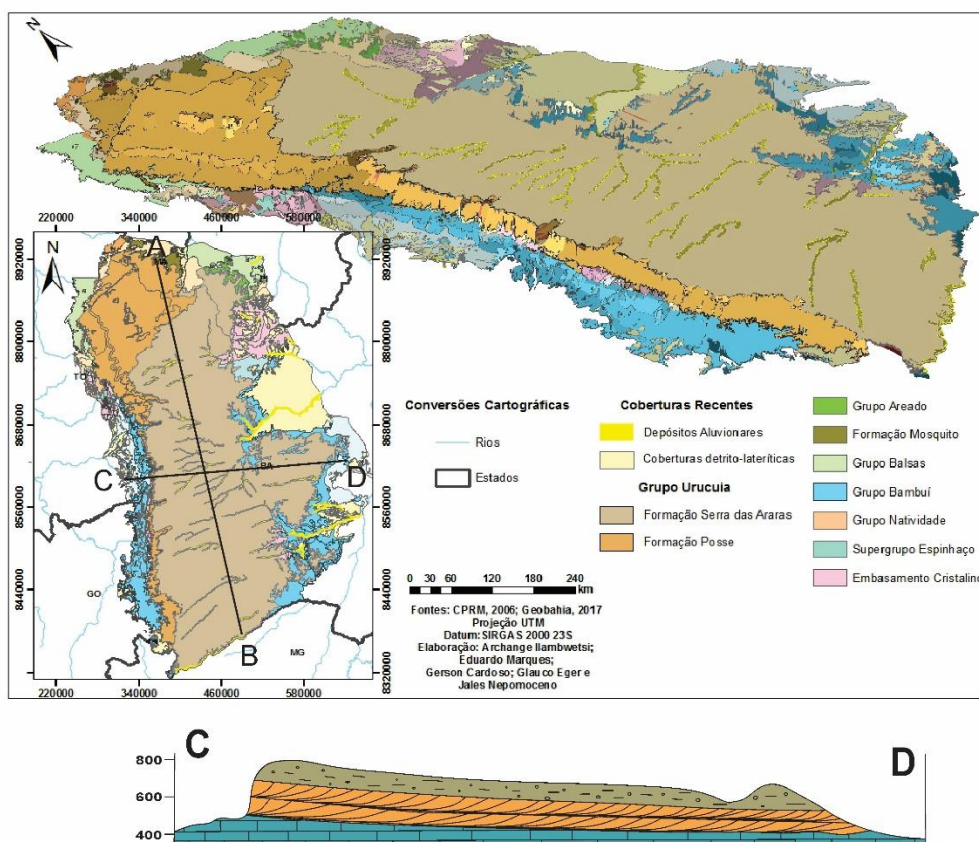


Figura 8. Modelo geológico 3D da bacia Urucuia. Adaptado do Serviço Geológico do Brasil (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2008) e do Sistema Geobahia (BRASIL, 2017).

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 AquiferTest* 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.

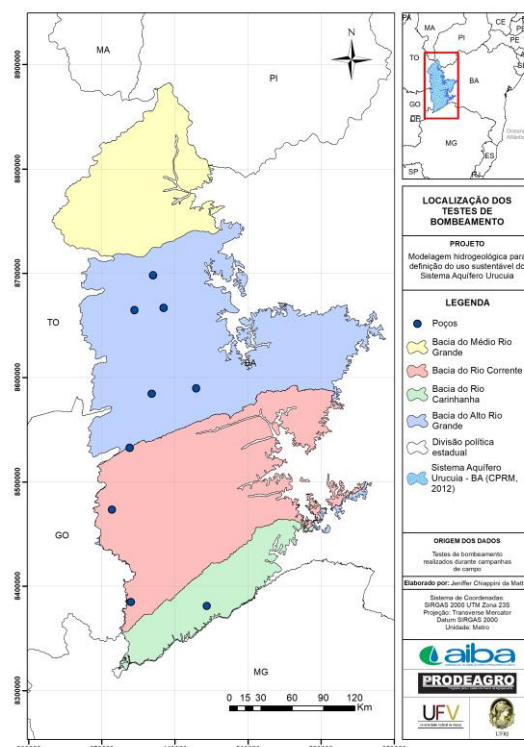


Figura 9. Mapa com a localização dos poços nos quais foram realizados testes de aquífero pela equipe executora do presente estudo até 2018.

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	1973	0,303	-	-	Jacob	Rio do Cachorro
Iris Basso	2956	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	Rio das Fêmeas
P90 O	1467	0,247	3,0 x 10 ⁻⁴	1,25 x 10 ⁻²	Neuman	Rio das Fêmeas
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.

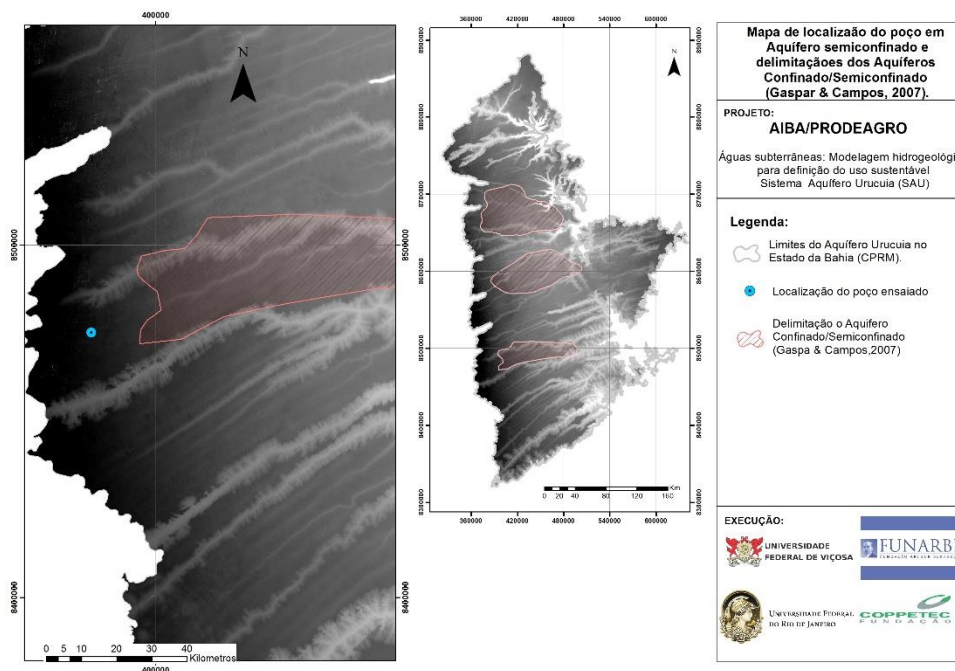
Os resultados indicaram uma variação da transmissividade entre 10⁻² a 10⁻⁵ m² s⁻¹ e da condutividade hidráulica entre 10⁻⁴ a 10⁻⁶ m s⁻¹, apresentando similaridade com os resultados obtidos nos estudos anteriores no SAU.

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).**

1.11 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.

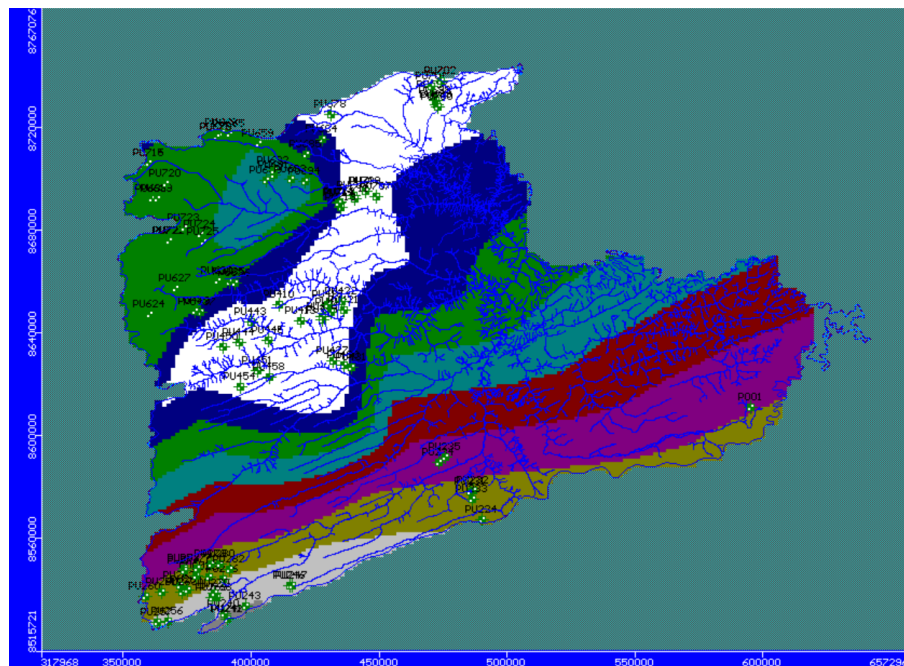


Figura 11. Distribuição da condutividade hidráulica na bacia do alto rio Grande. As tonalidades indicam a faixa de variação do parâmetro na camada superior do modelo (camada 1), entre 10⁻³ m s⁻¹ a 10⁻⁷ m s⁻¹.

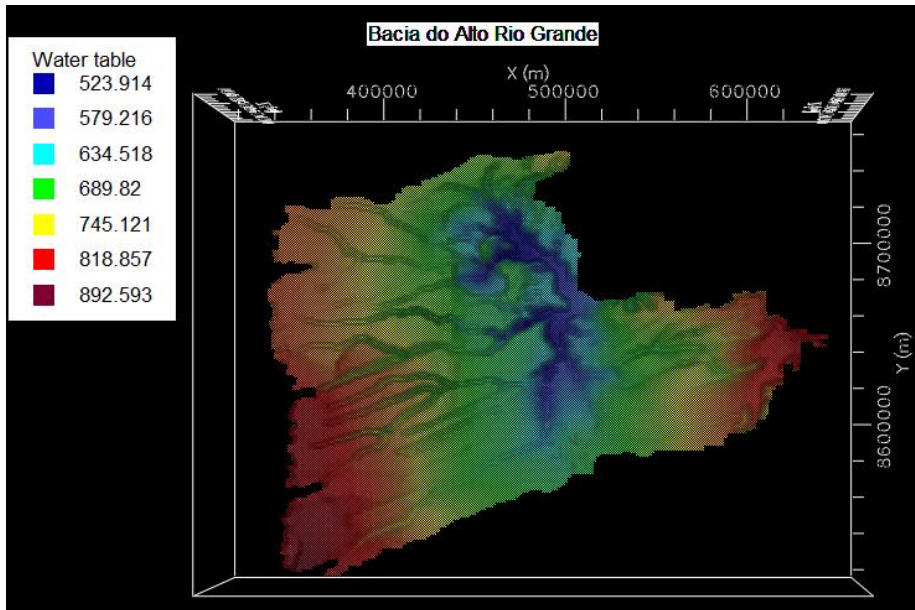


Figura 12. Mapa 3D com a representação da superfície potenciométrica da Bacia do Alto Grande (legenda com a carga hidráulica - cota do nível piezométrico do aquífero - em m).

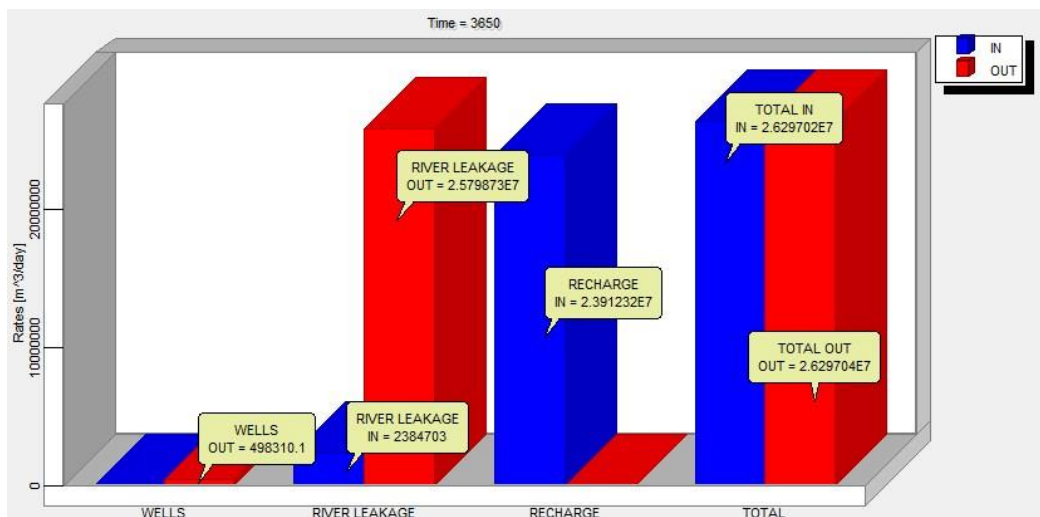


Figura 13. Gráfico do balanço hídrico da simulação hidrogeológica da Bacia do Alto rio Grande.

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).

1.12 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.

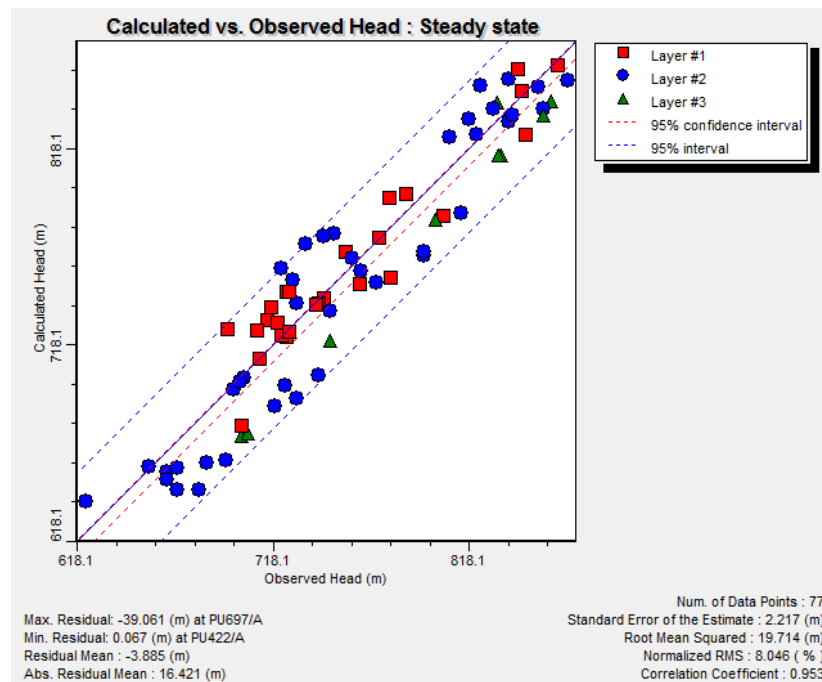


Figura 14. Gráfico de calibração da simulação da bacia do Alto rio Grande (carga hidráulica calculada vs. observada).

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%

1.13 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 hidráulicamente ativo do Bambuí subjacente ao aquífero em algumas zonas; (ii) o estabelecimento de contornos 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, v.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 2

2 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.

2.1 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.

2.2 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_r) 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_{mid} 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_{mid} , 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.

2.3 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 m³ ha⁻¹, obtém-se um valor de 62,5 m³ ha⁻¹ dia⁻¹ e de 6.250 m³ 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 m³ hab⁻¹ 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).

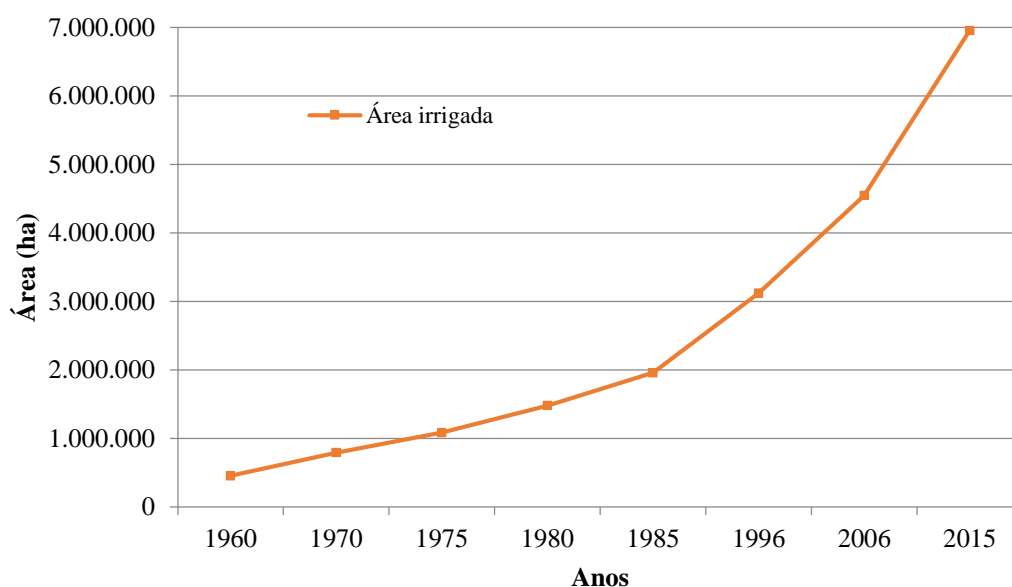


Figura 1. Evolução da área irrigada no Brasil no período de 1960 a 2015 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017a).

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.

2.4 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.

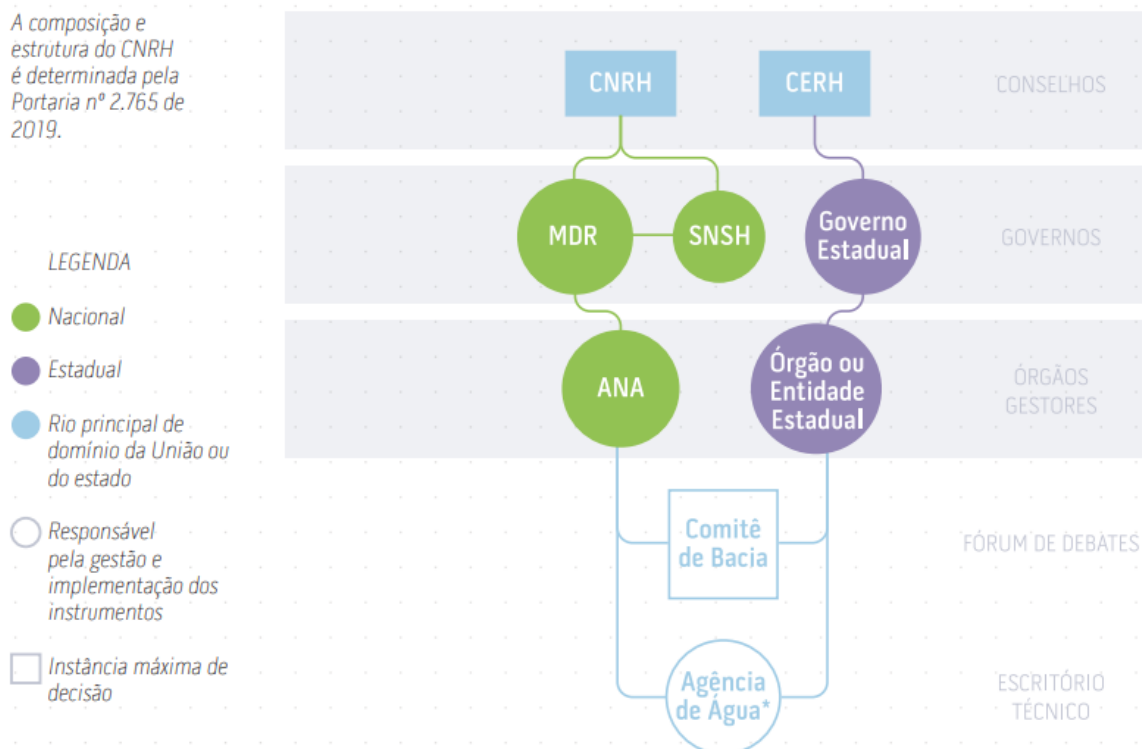


Figura 2. Estrutura e atribuições do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

2.4.1 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.

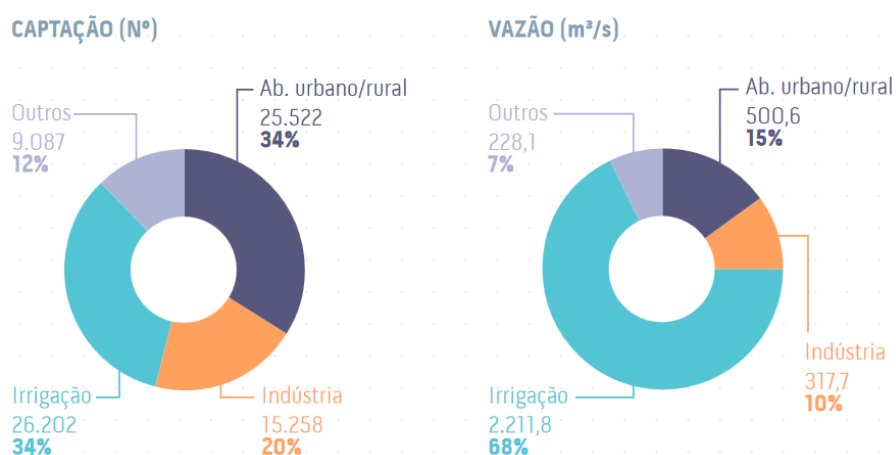


Figura 3. Quantidade e vazão total das outorgas federais e estaduais vigentes em julho de 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019c).

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.

2.4.2 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.

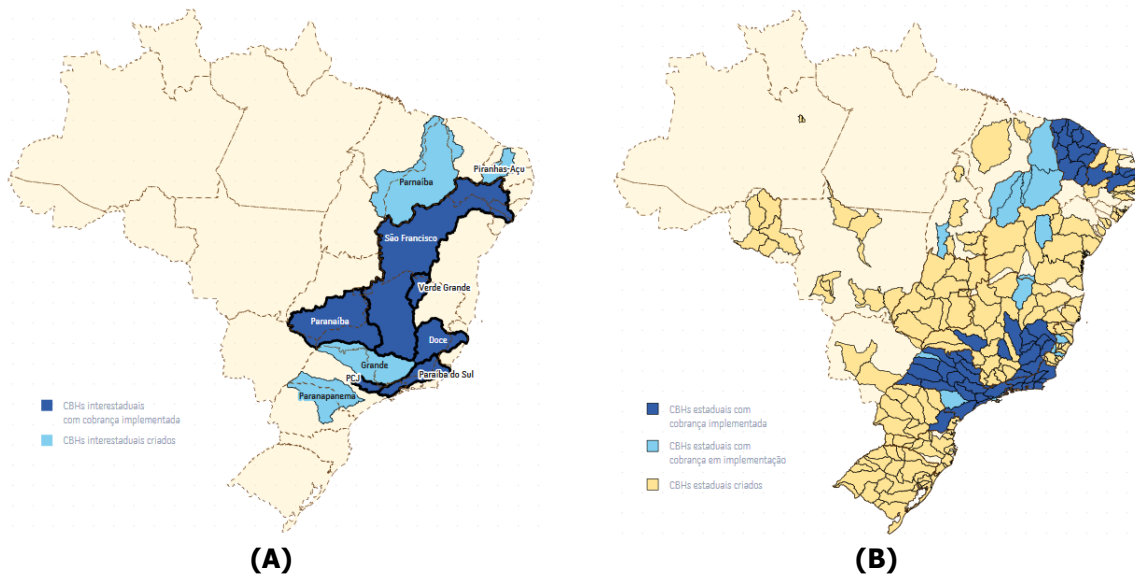


Figura 4. Cobrança pelo uso de recursos hídricos no país: (A) em bacias interestaduais; e (B) em bacias estaduais (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019c).

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.

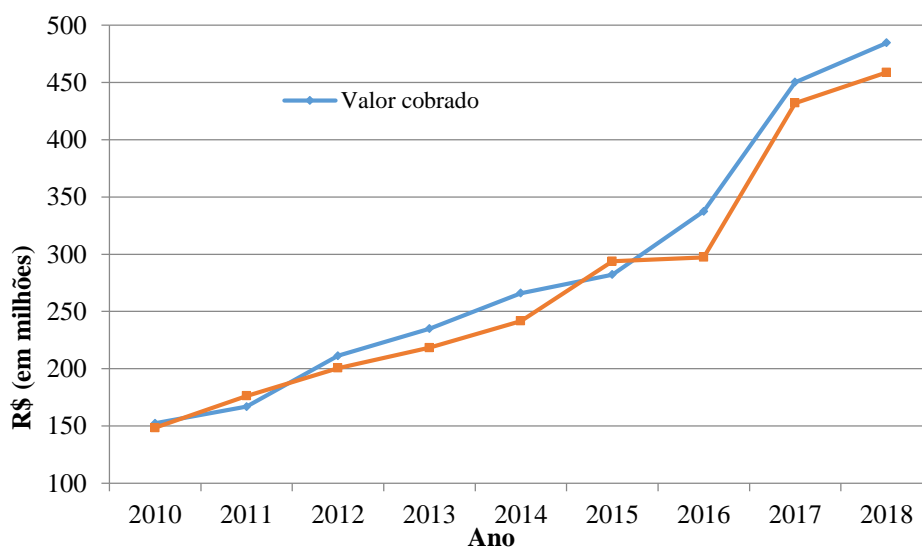


Figura 5. Evolução da cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019d).

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.

2.4.3 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.

2.5 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).

2.6 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 3

3 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.

3.1 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.

3.2 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.

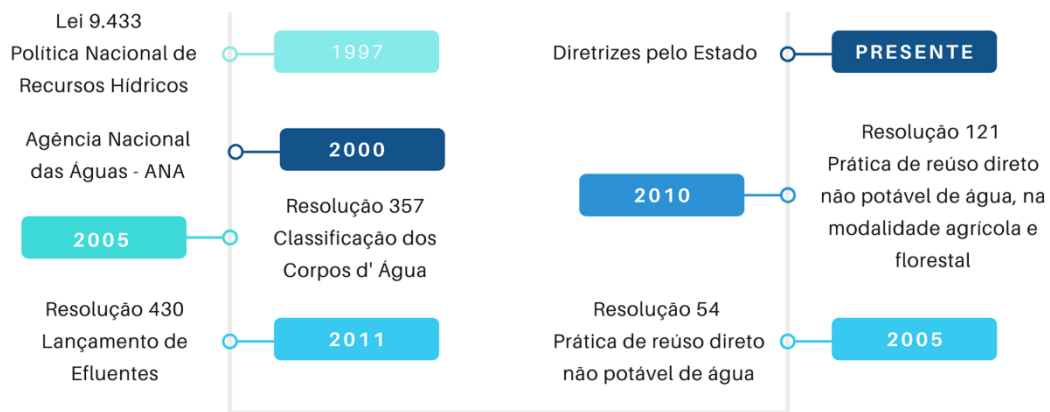


Figura 1. Linha do tempo sobre as principais leis sobre recursos hídricos, em um paralelo às resoluções de reúso da água.

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.

3.3 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).

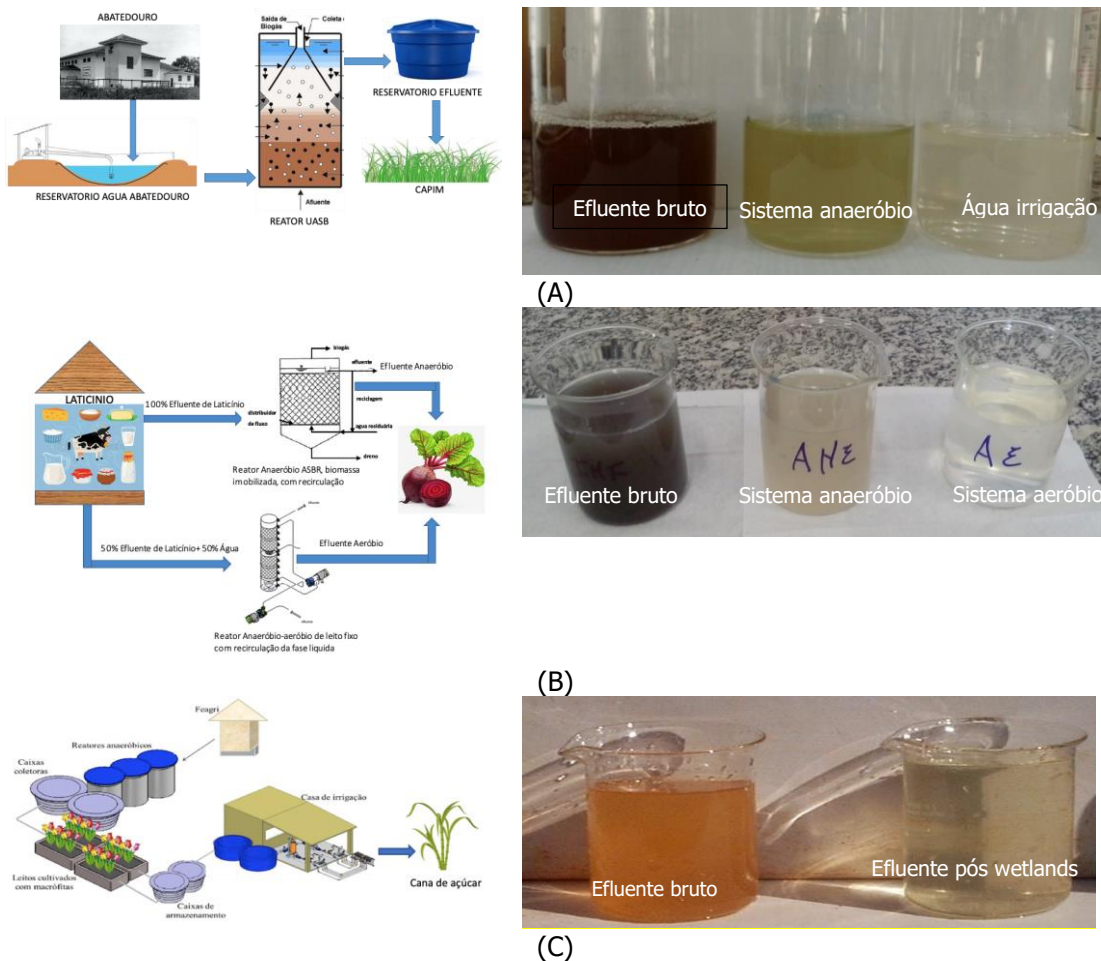


Figura 2. (A) efluente de abatedouro e tratamento anaeróbio (B) efluente de laticínio, efluente bruto, efluente tratado por sistema anaeróbio, efluente tratado por sistema anaeróbio, seguido por aeróbio; (C) efluente de esgoto doméstico e tratamento anaeróbio e *wetlands*.

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 (NKOVA, 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.

3.4 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.

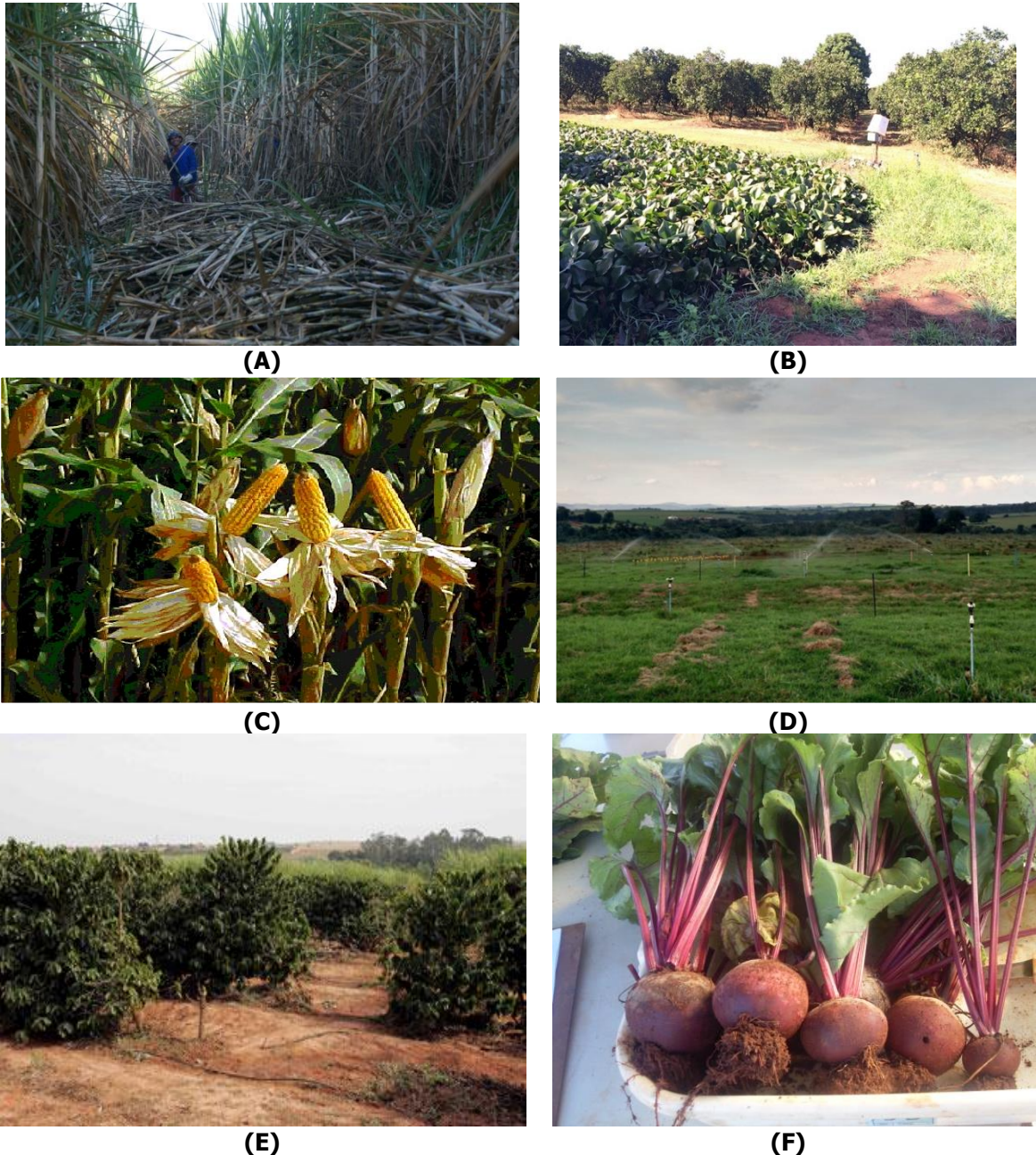


Figura 3. Culturas irrigadas com efluente tratado: (A) cana-de-açúcar - esgoto doméstico (DEON *et al.*, 2010), (B) laranja - esgoto doméstico (SANTOS *et al.*, 2016), (C) milho - esgoto doméstico (FONSECA; MELFI; MONTES, 2005), (D) capim, *coast cross* - abatedouro (MENEGASSI *et al.*, 2020), (E) café - 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).

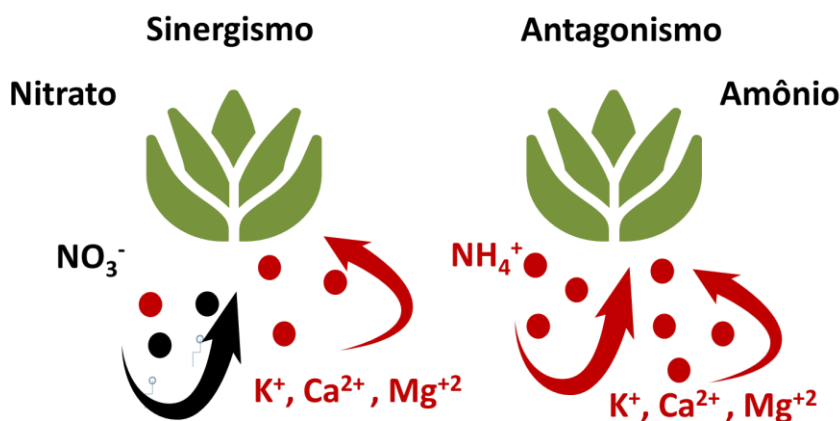


Figura 4. Esquema de interações na presença de diferentes formas de nitrogênio na solução do solo.

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).

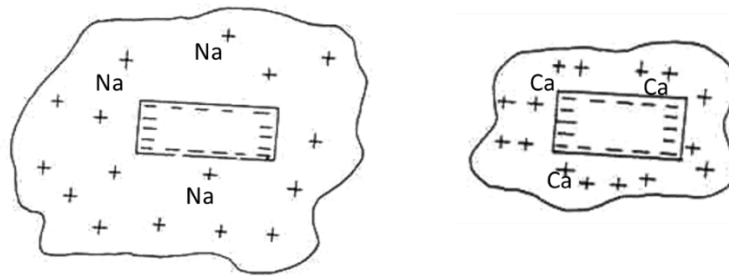


Figura 5. Atmosfera iônica de partículas coloidais do solo, saturada com íons de sódio e com íons de cálcio.

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.

3.5 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.

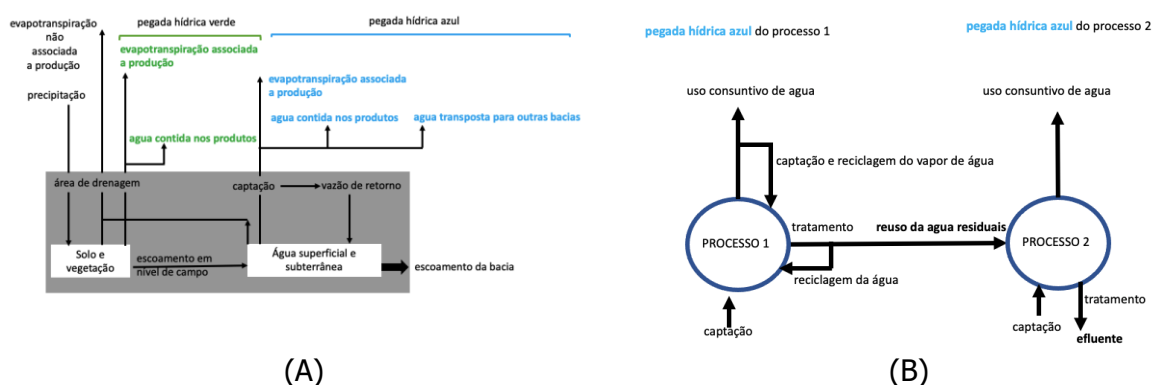


Figura 6. As pegadas hídricas azul e verde em relação ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (A) e pegada azul de água de reciclagem e reúso (B) (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

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).

3.6 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.
- ASHEKUZZAMAN, 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 sucroenergético**. 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](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 4

4 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.

4.1 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.

4.2 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 ROMÁN; 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).

4.3 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.

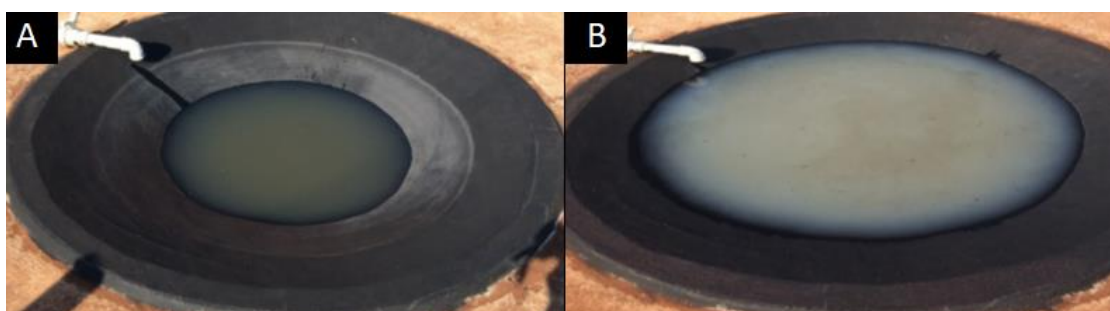


Figura 3. Reator solar de tronco cônico invertido operando com lâminas de 0,10 (A) e 0,20 (B) metros de profundidade (ALVES, 2015).

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.

4.4 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 a 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 reúso 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 reúso 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.

4.5 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.

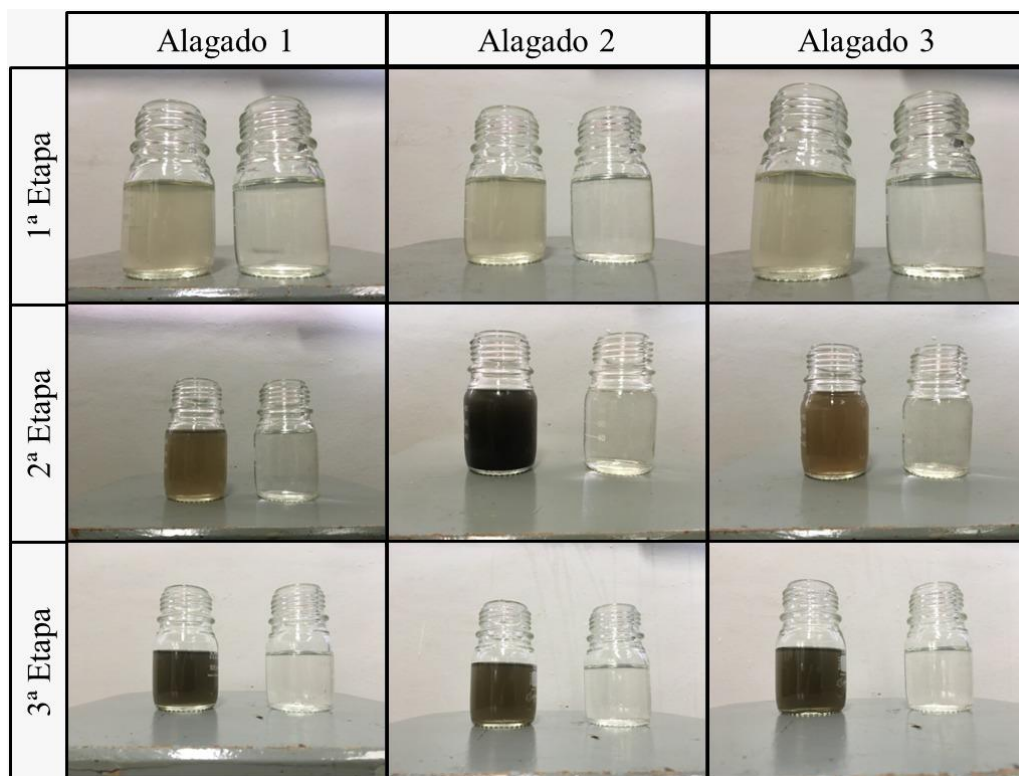


Figura 6. Aspecto dos efluentes (à esquerda) e efluentes (à direita) dos três alagados construídos nas diferentes etapas do experimento (QUELUZ, 2016).

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 $11,5 \text{ taboas m}^{-2}$.

4.6 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*.



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 $1,0 \text{ L s}^{-1}$. 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: $525,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, $175,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P e $521,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K.

4.7 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).

4.8 Influências na produção utilizando o sistema vertical

4.8.1 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).

4.8.2 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).

4.8.3 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.

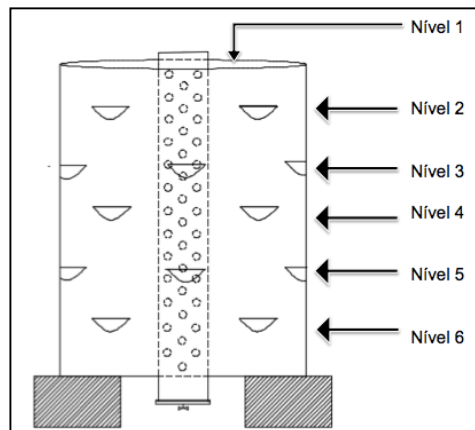


Figura 8. Desenho esquemático do sistema vertical e os respectivos níveis de plantio e composteira no centro do sistema (VENTURA, 2017).

4.8.4 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* ($<1 \text{ NMP } 100 \text{ g}^{-1}$), classificando-as como adequadas para o consumo conforme a Resolução-RDC 12 (BRASIL, 2001).

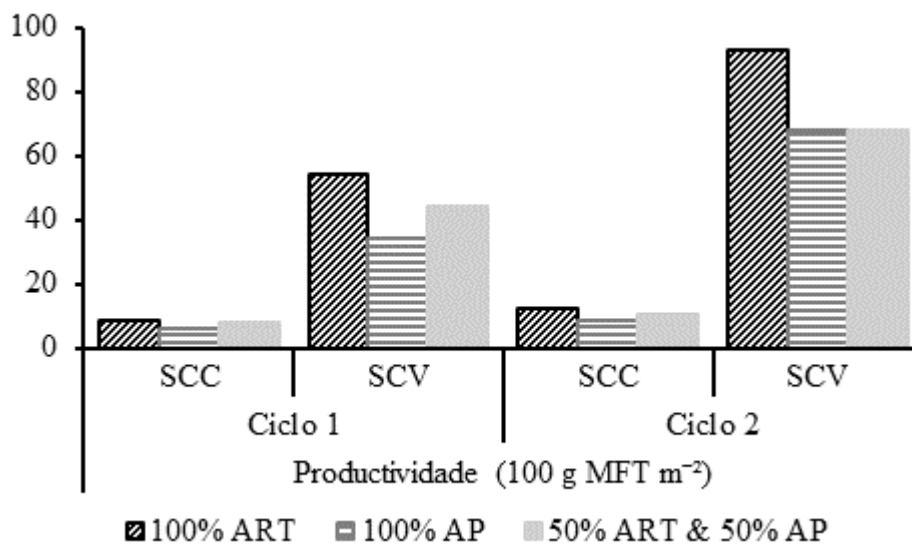


Figura 11. Resultados da produtividade de couve-manteiga no Sistema de Cultivo Vertical (SCV) e Sistema de Cultivo em Campo (SCC) (PITORO, 2019).

4.8.5 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 – fósforo 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).

Pitoro (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.

4.9 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 m^2 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.; PITIRO, 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 5

5 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.

5.1 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)

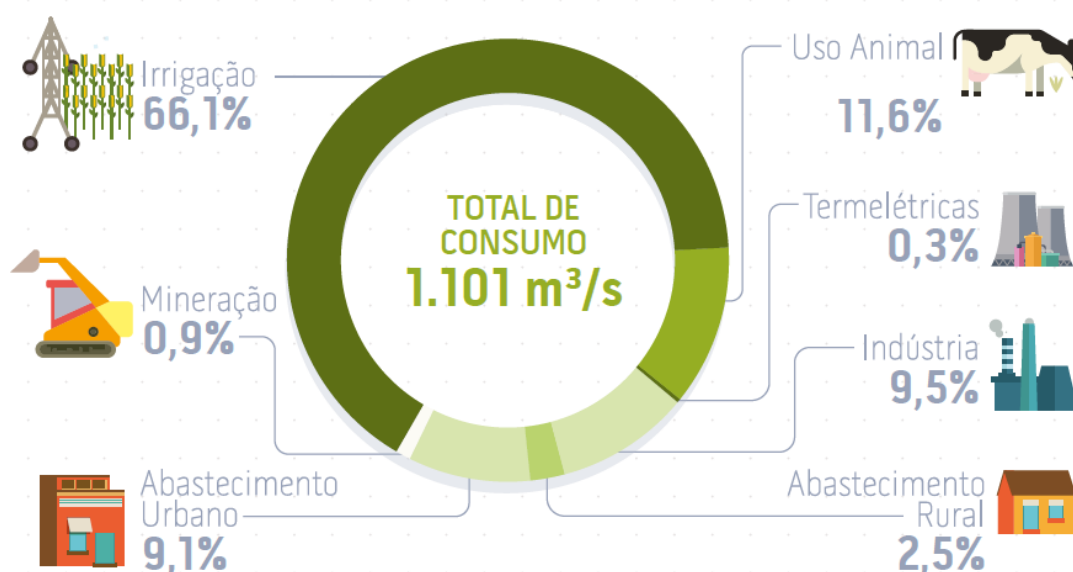


Figura 1. Distribuição da água consumida no país por setores (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2018).

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.

5.2 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.

5.3 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.

5.4 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).

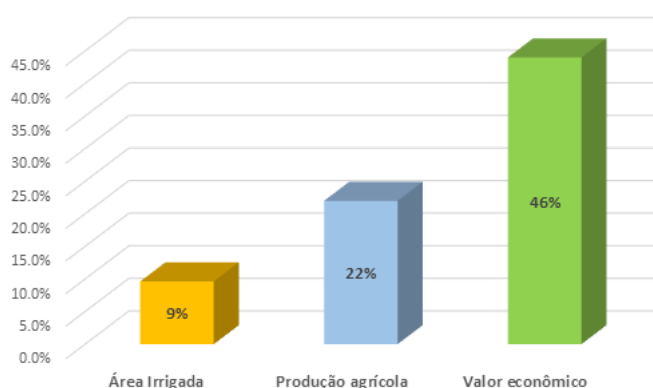


Figura 2. Informações sobre área irrigada, produção agrícola e valor econômico da agricultura irrigada em percentual da produção total (MAPA *apud* RODRIGUES *et al.*, 2017).



Figura 3. Evolução da área irrigada brasileira de 1960 a 2017 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

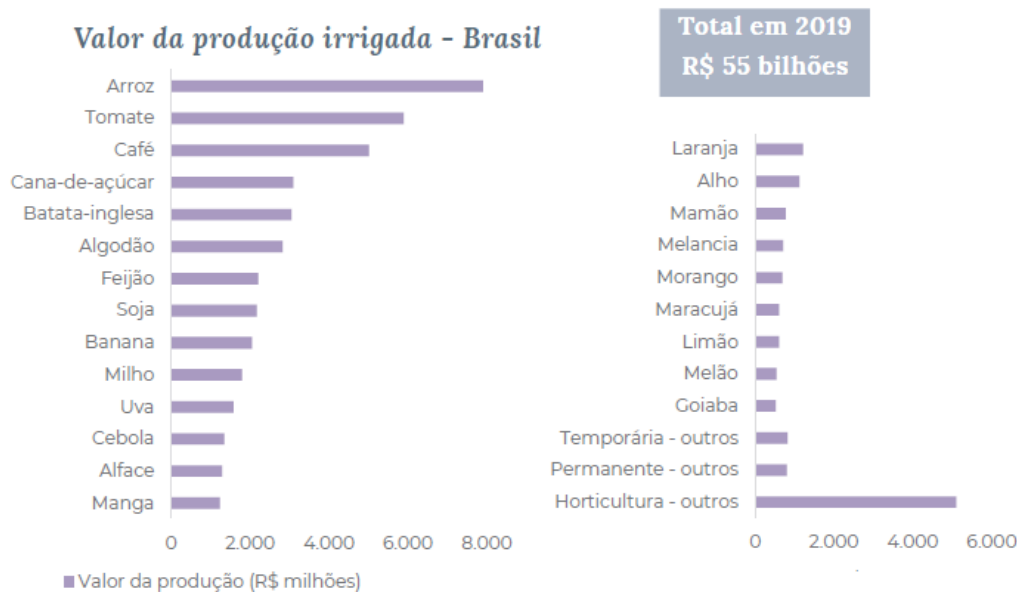


Figura 4. Valor da produção irrigada no Brasil em 2019 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

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.

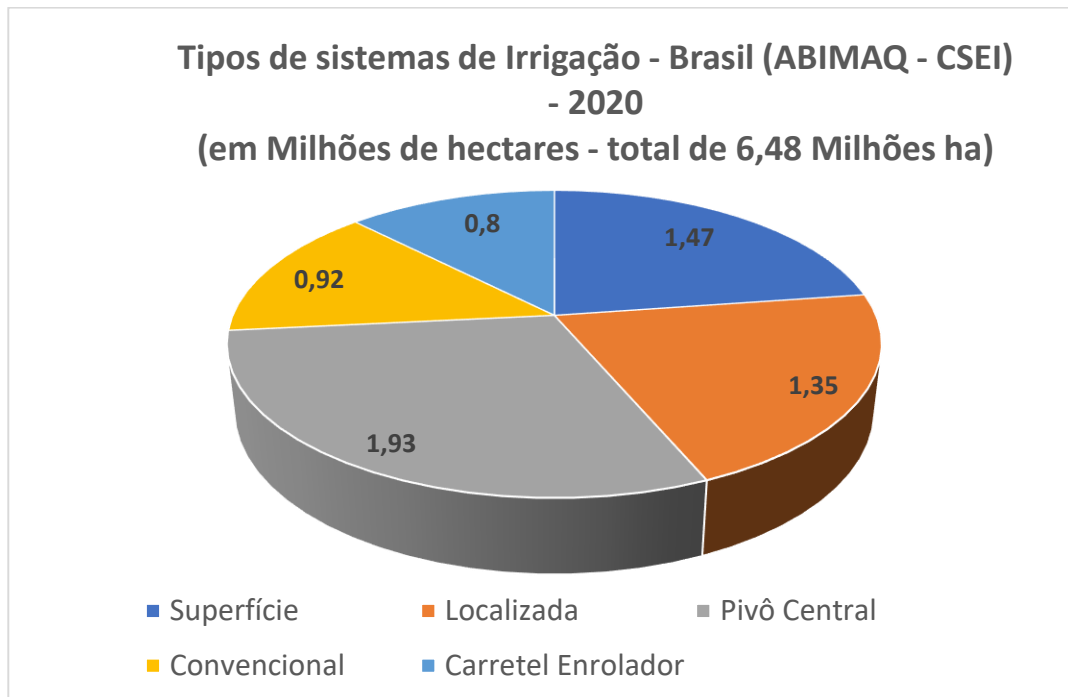


Figura 5. Distribuição da área irrigada por tipos de sistema de irrigação no Brasil (ABIMAQ/CSEI, 2020).

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.

5.4.1 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.

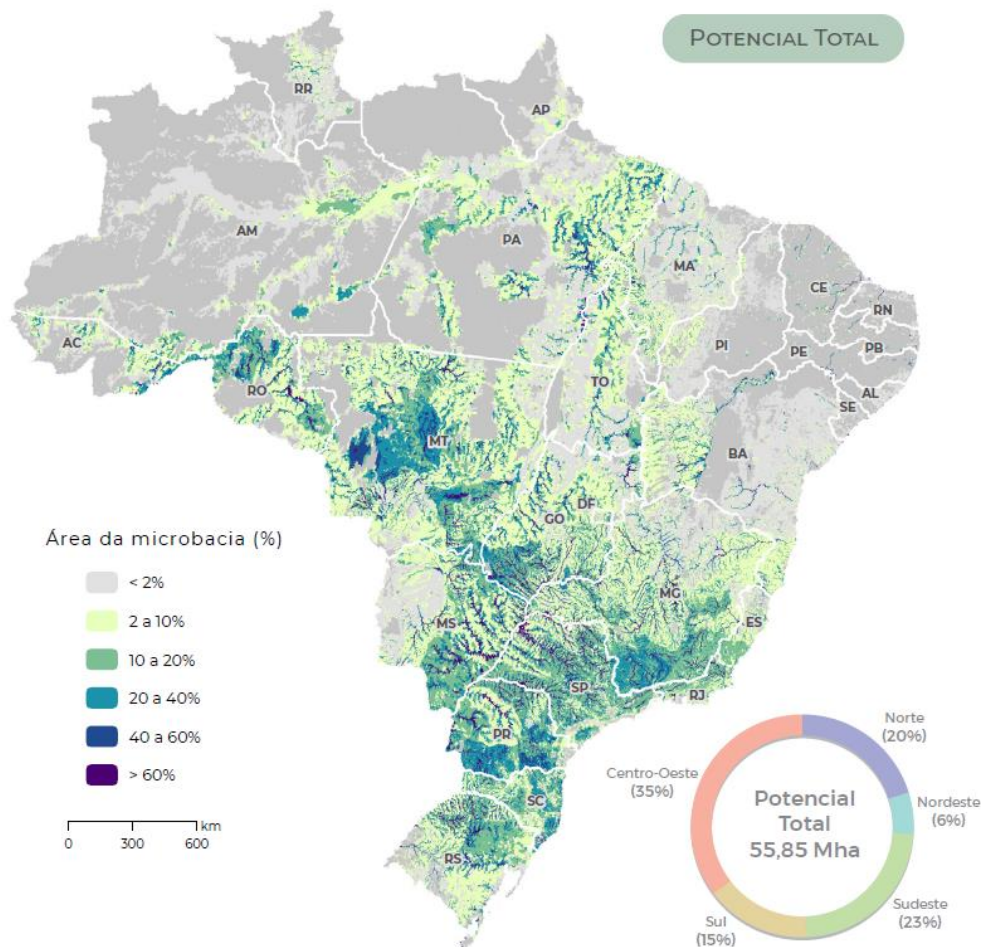


Figura 6. Potencial de área irrigada em percentagem da área da bacia hidrográfica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

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.

5.4.2 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.

5.4.3 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.

5.4.4 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).

5.5 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 6

6 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.

6.1 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).

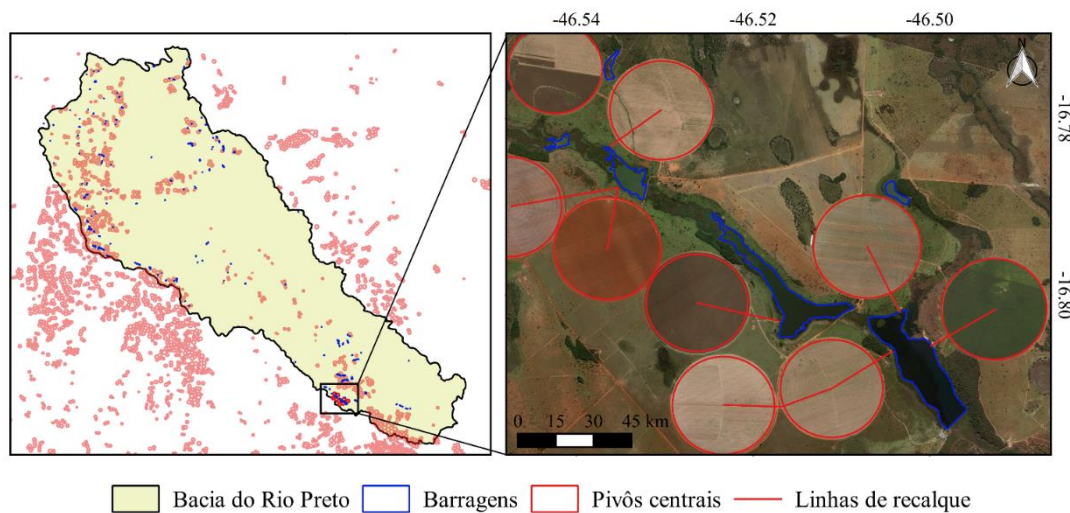


Figura 1. Aproveitamento de água reservada em pequenas barragens por pivôs centrais localizados na bacia do Rio Preto. Sistema de referência de coordenada: SIRGAS 2000.

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.

6.2 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.

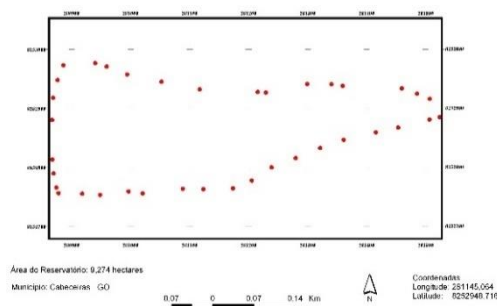
Apesar dos vários estudos (LIEBE; VAN DE GIESEN; ANDREINI, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2007; HUI *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2012) mostrando adequação desse método para estimativa da área do espelho d'água, em alguns casos, pode

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.

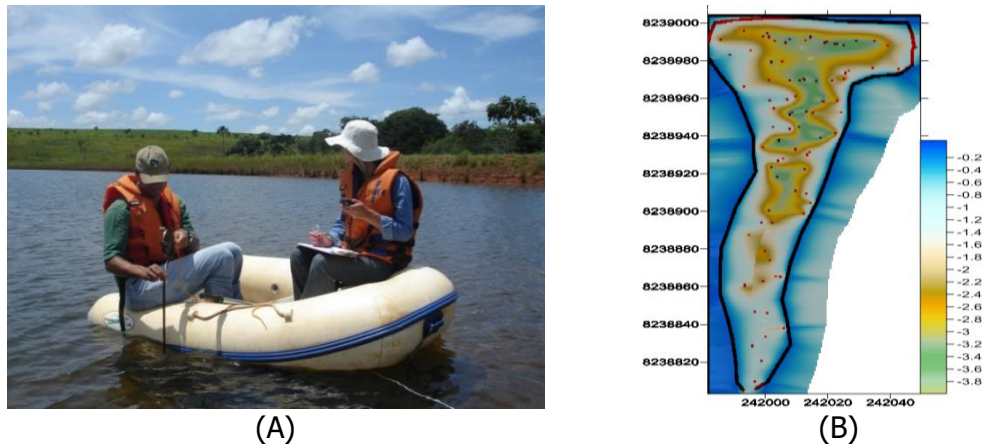


Figura 3. (A) Batimetria utilizando batímetro de mão e registro da posição com receptor GPS portátil; e (B) modelo em três dimensões de uma das barragens avaliadas.

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

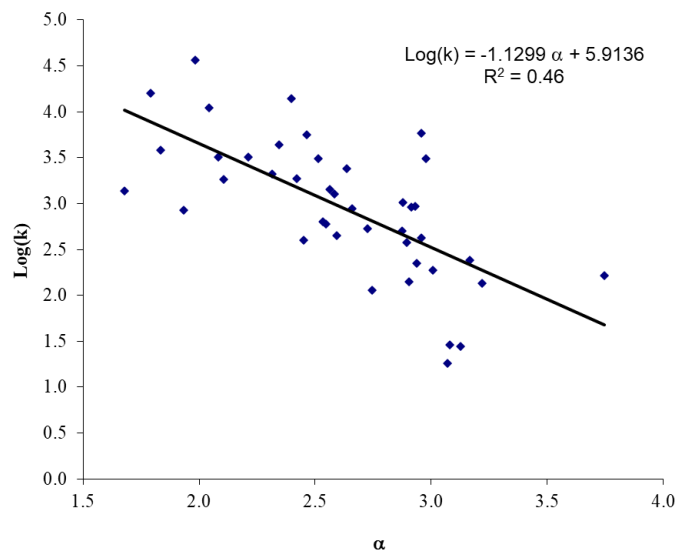


Figura 4. Relação entre os coeficientes referentes a geometria, $\log(k)$ e α , de uma pequena barragem na bacia hidrográfica do rio Preto.

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.

6.3 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.

6.4 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.

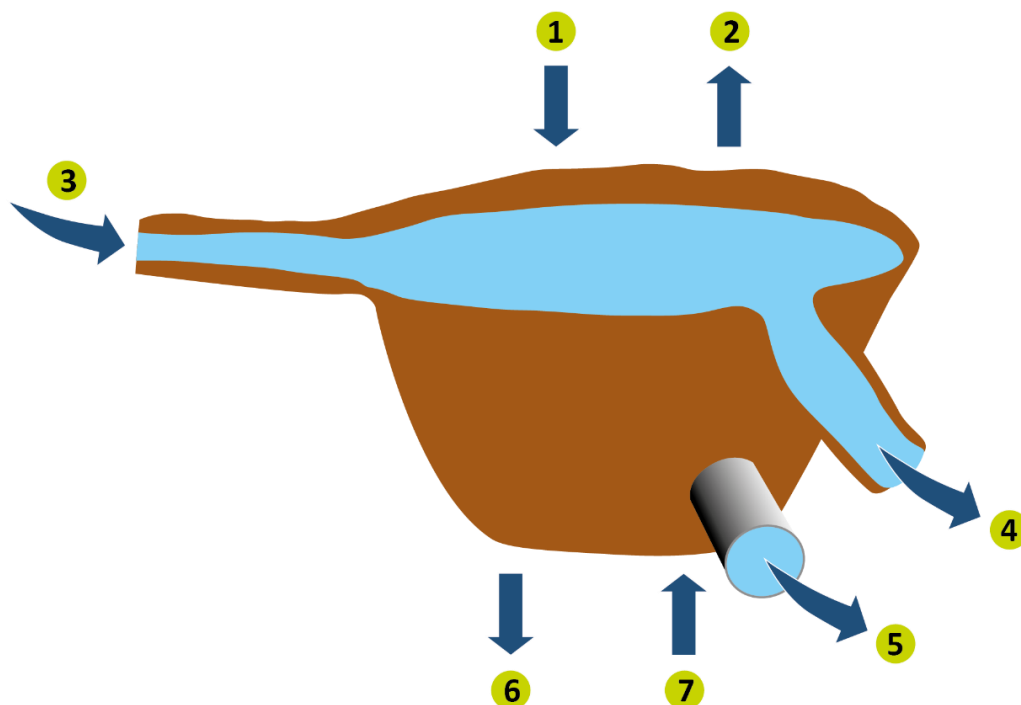


Figura 5. Representação esquemática dos componentes de uma pequena barragem, destacando as principais variáveis hidrológicas relacionadas à dinâmica de água: (1) precipitação, (2) evaporação, (3) vazão afluyente, (4) vertedor, (5) tomada de fundo, (6) infiltração, e (7) ascensão capilar.

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.

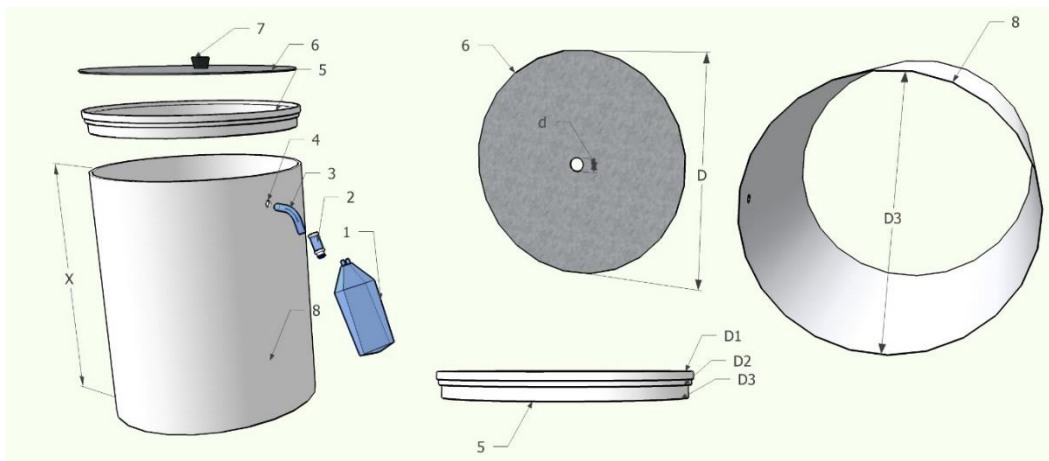


Figura 6. Esquema ilustrativo das partes componentes do infiltrômetro: (1, 2, 3) Frasco de soro, válvula de controle de fluxo e mangueira, (4) Orifício, com 0,5 cm de diâmetro, feito a 10 cm abaixo da parte de cima do barril (tubo de PVC), (5) Conexão barril-tampa (D1 = 26,0 cm; D2 = 25,4 cm; e D3 = 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).

6.5 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.

6.6 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%.

6.7 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.

6.8 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 7

7 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.

7.1 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.

7.2 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

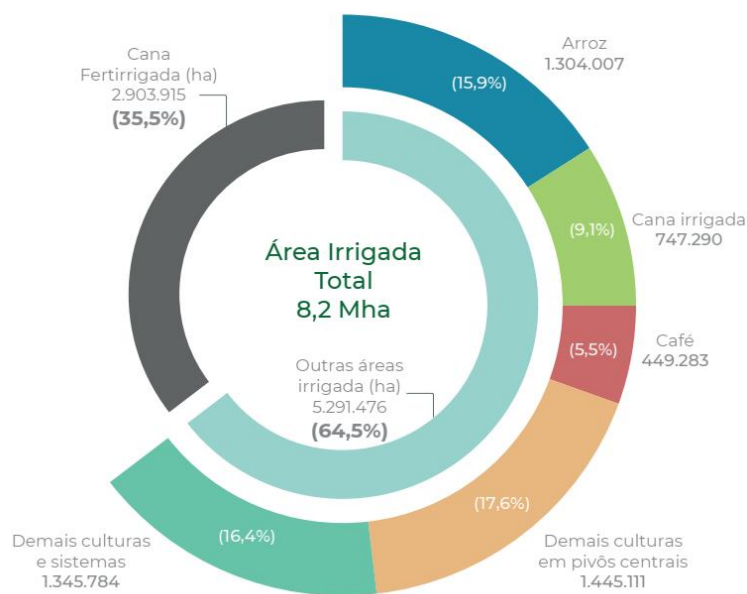


Figura 1. Área equipada para irrigação no Brasil em 2019, por tipologia de cultura e manejo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

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.

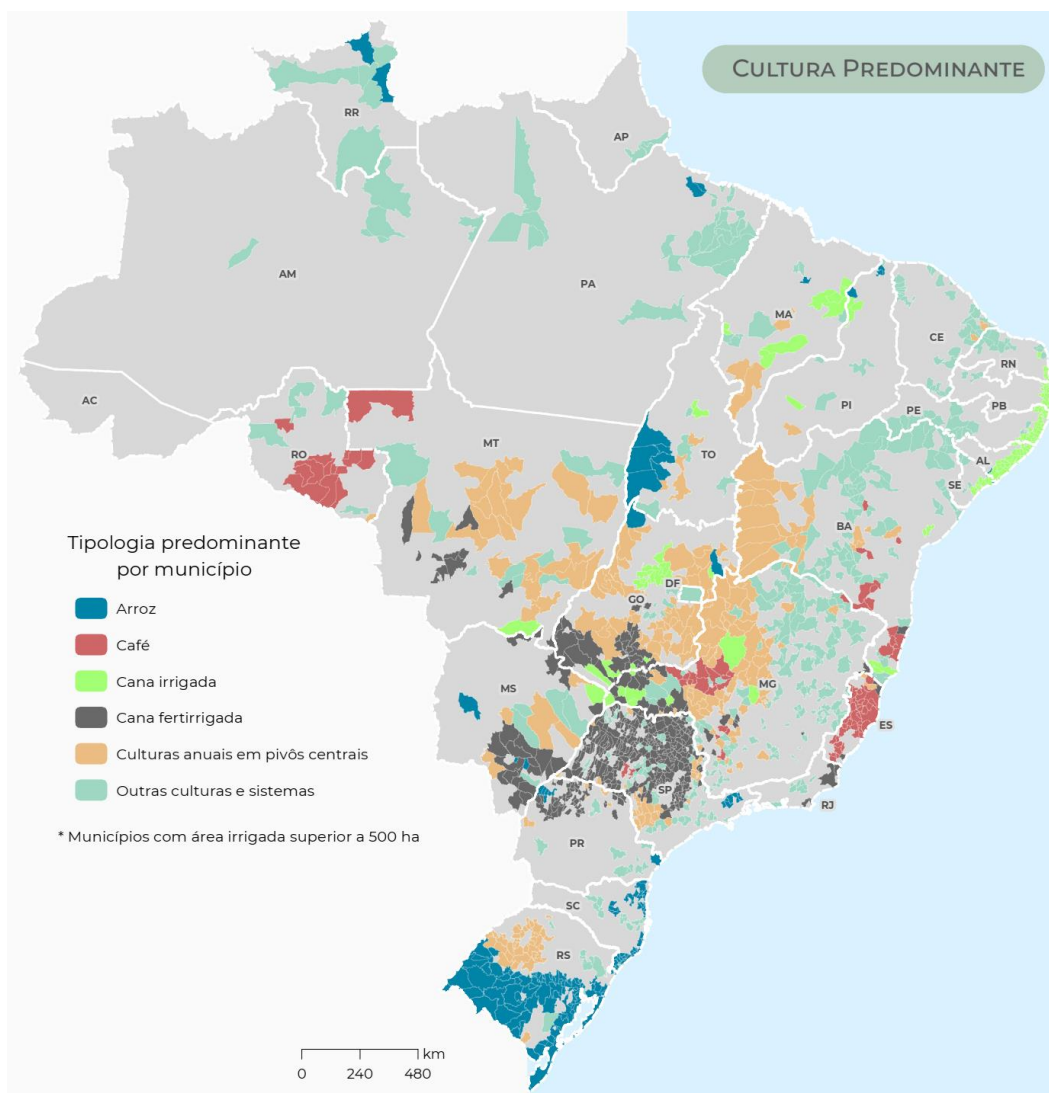


Figura 2. Tipologia de cultura predominante por município em 2019 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

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.

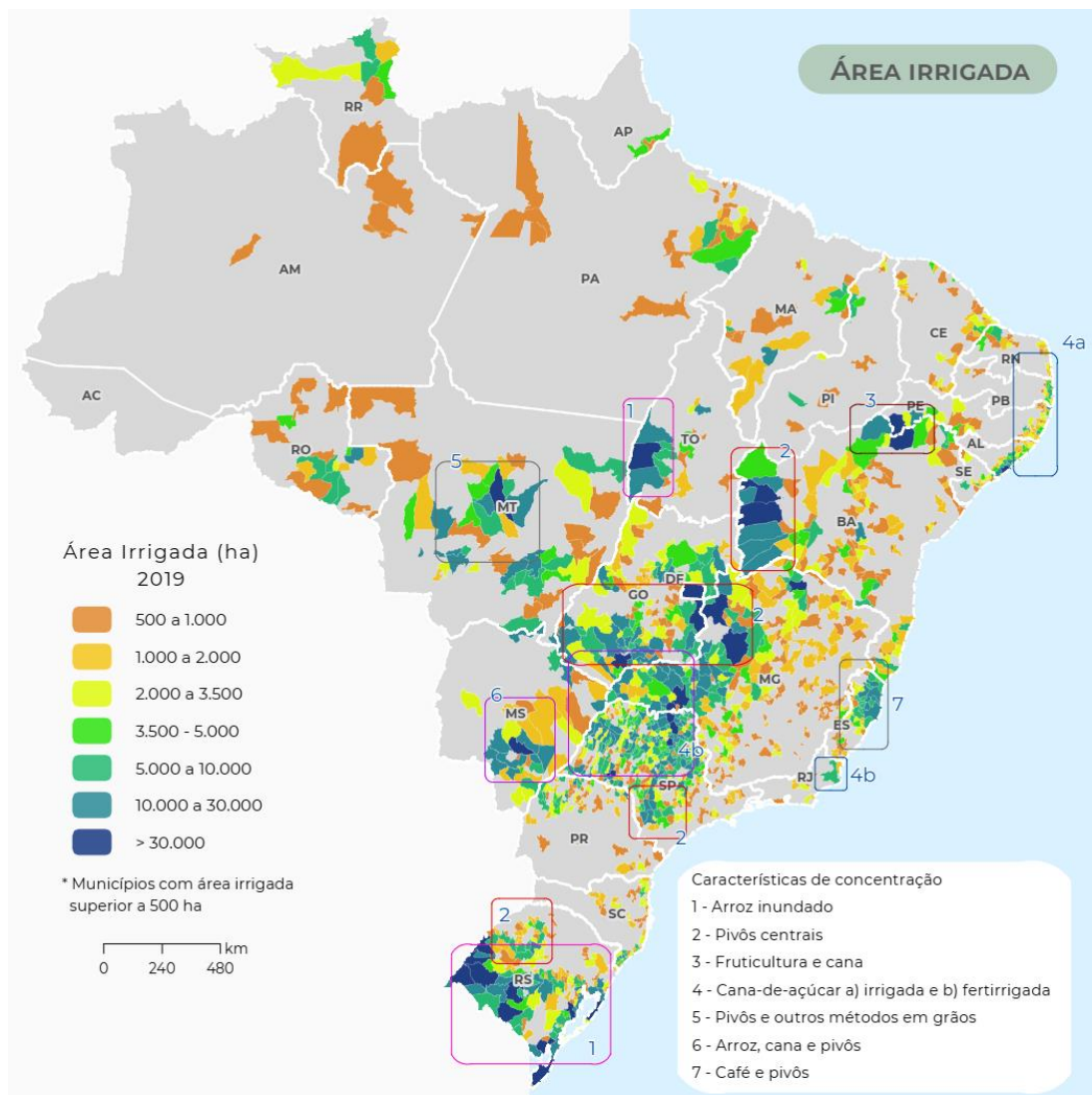


Figura 3. Área equipada para irrigação por município (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

7.3 Uso da água

Considerando os usos setoriais da água, a irrigação é responsável atualmente 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 evapotranspiração e precipitação média histórica até 2019, aponta um uso da água pela agricultura irrigada de $965 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, equivalente a 30,5 trilhões de litros ao ano. Cerca de 97,5% ($941 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) são captados em mananciais (água azul) e cerca de $24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ representam o reúso agrônômico 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 hidroatensivo, 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%).

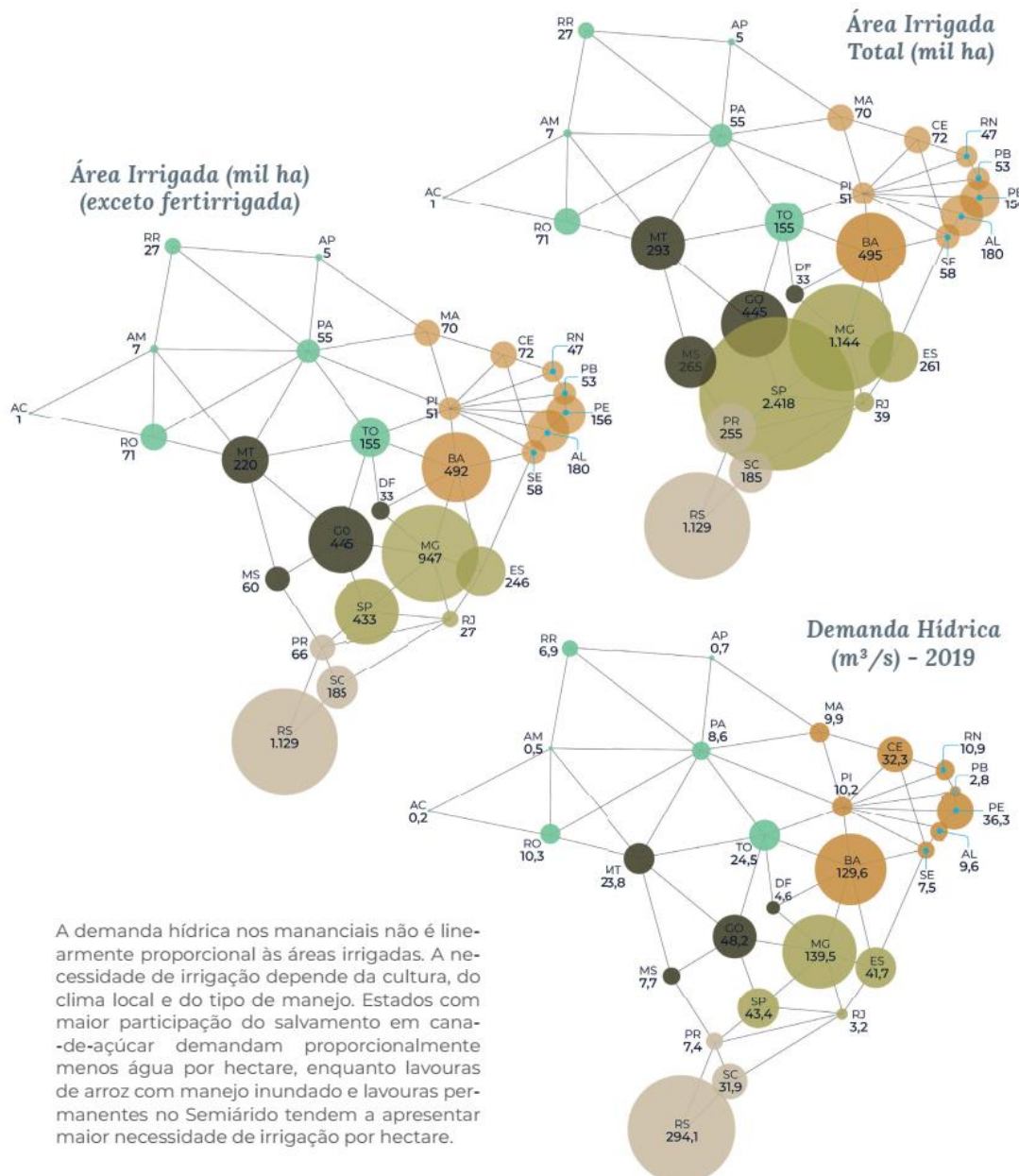


Figura 5. Área equipada (total e irrigada) e demanda hídrica de mananciais por unidade da federação. Atlas Irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

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.

7.4 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

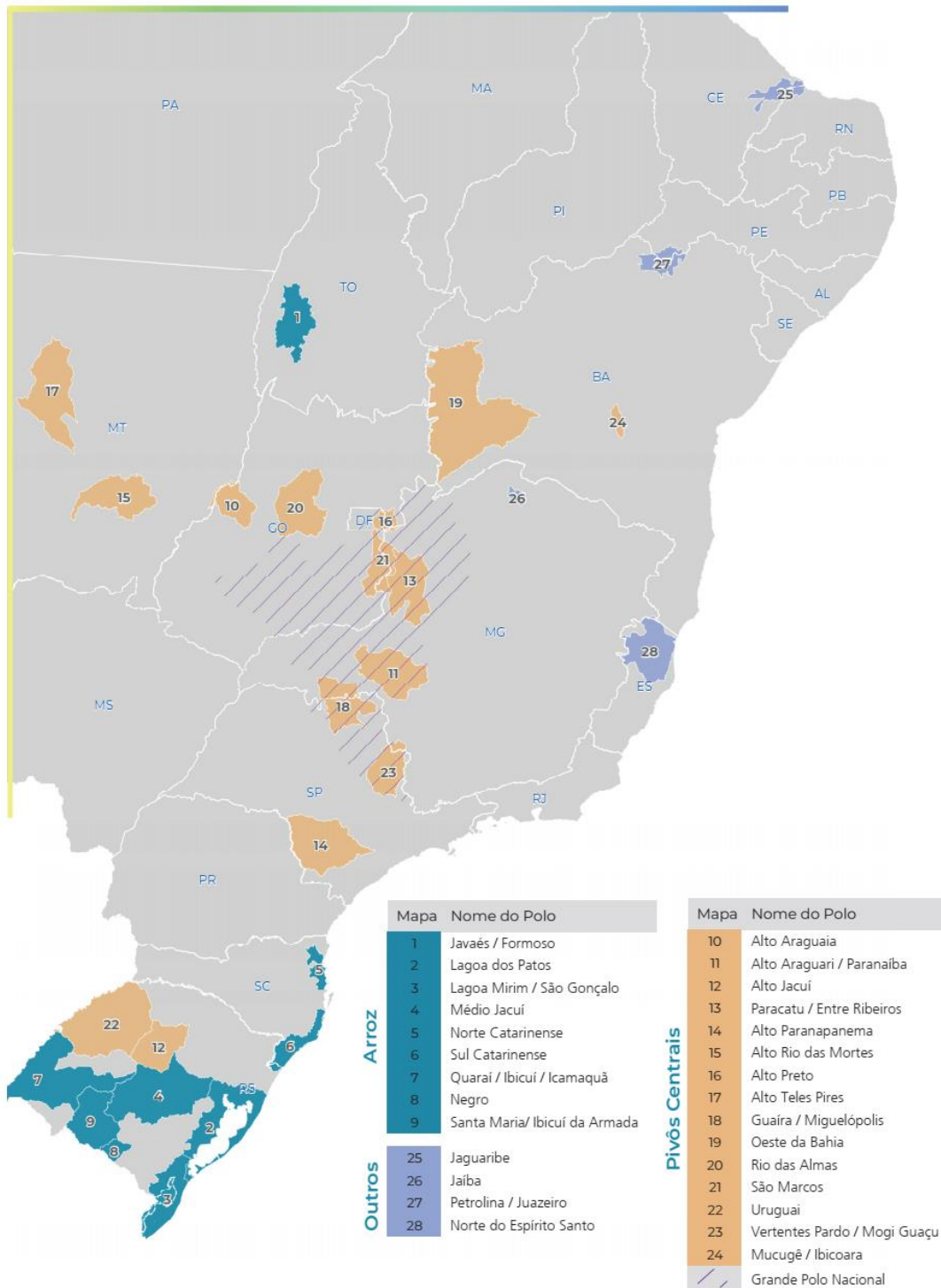


Figura 6. Polos nacionais de agricultura irrigada por bacia hidrográfica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

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 Riberios (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.

7.5 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) Reserva 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 automáticas, 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).

7.6 Considerações finais

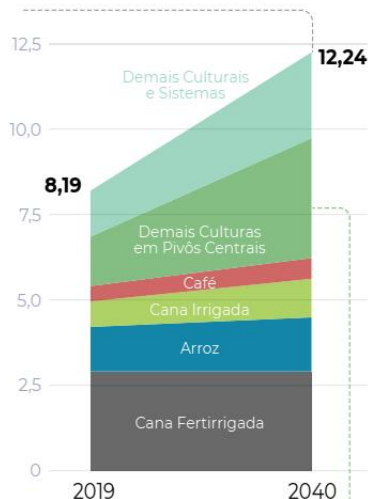
Mais do que uma publicação, o Atlas Irrigação é uma estratégia permanente da ANA que reúne bases de dados, estudos técnicos, arranjo institucional e parcerias que, em conjunto, contribuem para a agricultura irrigada na sua interface com os recursos hídricos e, mais especificamente, cumprem atribuições da Agência na busca pela melhor informação disponível sobre os diversos usos da água no Brasil.

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).

TOTAL DE ÁREA PLANTADA

Em milhões de hectares (Mha)

A previsão é de acréscimo de **76%** à área total irrigada e de estabilidade na área feritirrigada.

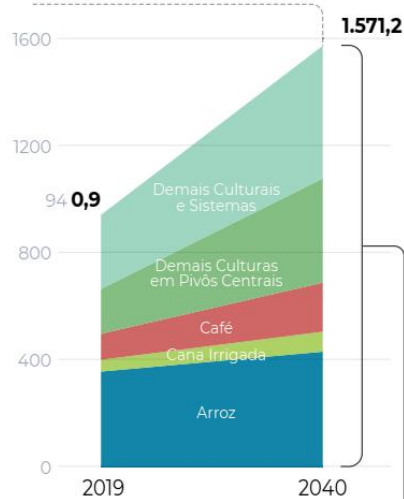
**+2,06Mha**

os pivôs centrais liderarão a ampliação das áreas irrigadas, aumentando sua participação de **27% para 38%**

CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA PARA IRRIGAÇÃO

Em milhares de litros por segundo

A previsão é de acréscimo de **66%** na retirada, em função da ampliação de métodos mais eficientes.

**19,9**

trilhões de litros ao ano **a mais em relação à 2019** serão destinados às áreas irrigadas

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, fornecer 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 8

8 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 Urucuia já terá caído 5 metros desde 2012.

8.1 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 (km²)	Aquífero principal	Água (km³)	Vazão (m³ 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 milhões de hectares.

8.2 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

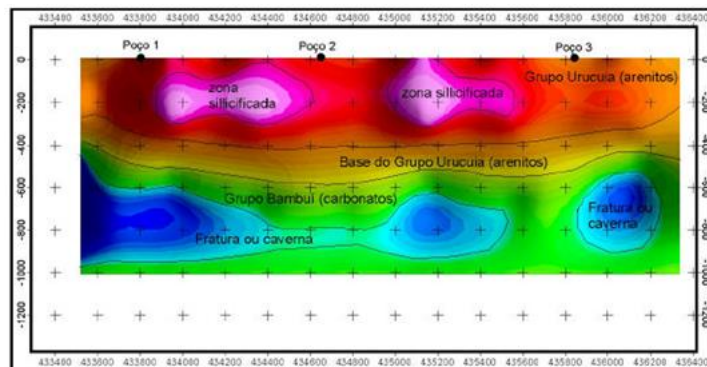


Figura 1. Perfil de eletro-resistividade do aquífero Urucua em Luís Eduardo Magalhães (BA).

8.3 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.

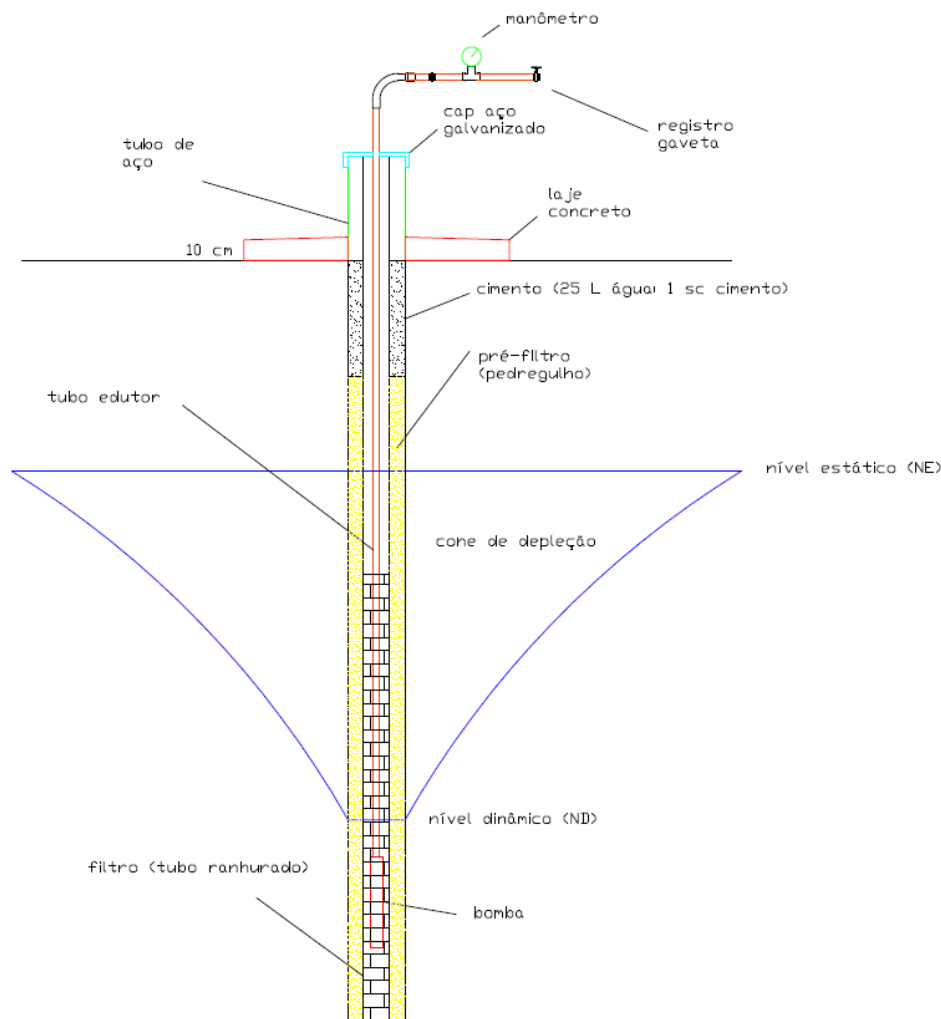


Figura 2. Perfil construtivo típico de um poço em aquífero sedimentar.

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 submergência 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.

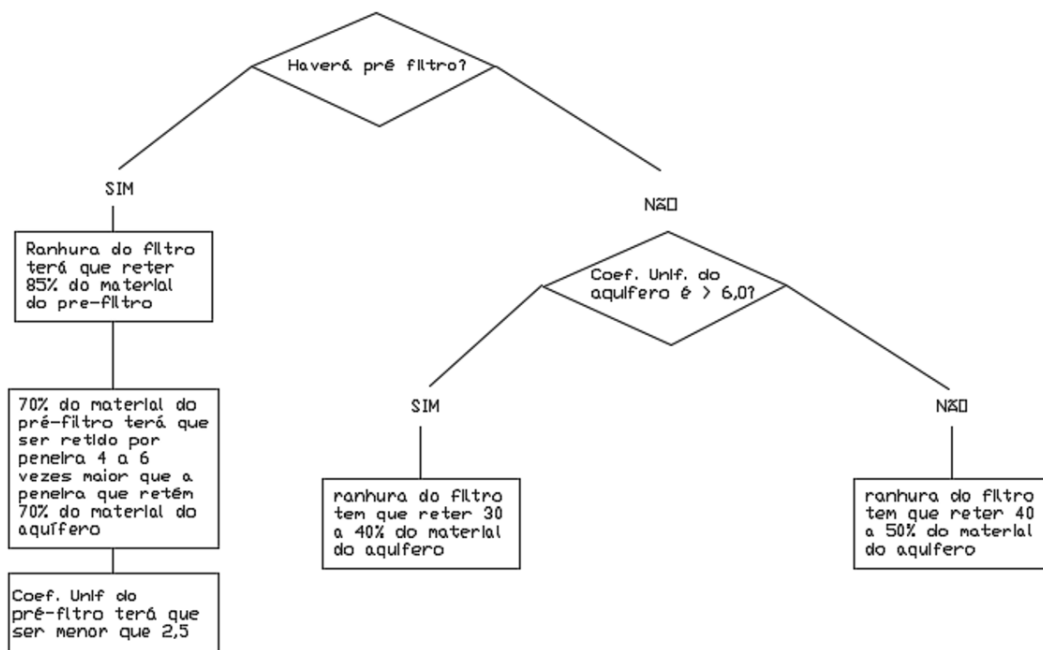


Figura 3. Fluxograma para escolha de filtros e pré-filtros.

Após passar o material granular em jogo de peneiras, o coeficiente de uniformidade é calculado como:

$$Coef. Unif. = \frac{\text{abertura que retém 40\%}}{\text{abertura que retém 90\%}} = \frac{\text{abertura que passa 60\%}}{\text{abertura que passa 10\%}} \quad (1)$$

8.4 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:

$$NR = \frac{vd}{\nu} \quad (2)$$

Onde v é a velocidade real da água nos poros (m/s), d é o diâmetro médio das partículas do aquífero (m) e ν 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:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} \text{ ou simplesmente } K = k \frac{g}{\nu} \quad (4)$$

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

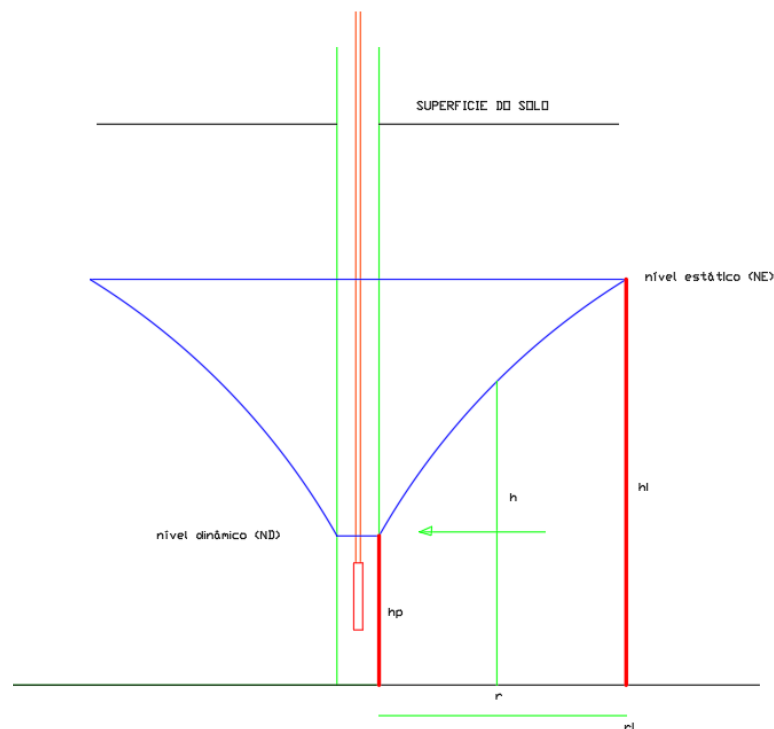
8.5 Movimento de água em direção ao poço em aquífero sedimentar livre

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: $22,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

8.6 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).

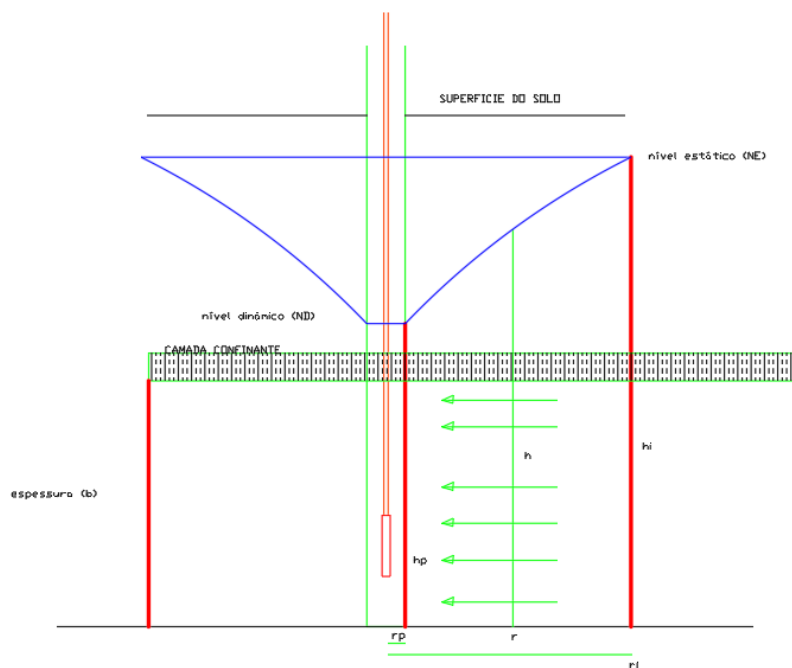


Figura 5. Movimento de água em direção ao poço em aquífero confinado.

$$Q = \text{área} \cdot \text{fluxo} \quad (8)$$

$$Q = (2\pi r b) \cdot \left(K \frac{dh}{dr}\right) \text{ ou } Q dr = 2\pi K b dh \text{ ou } Q \int_{r_p}^{r_i} dr = 2\pi K b \int_{h_p}^{h_i} dh \quad (9)$$

$$Q = 2\pi T \frac{(h_i - h_p)}{\text{LN}\left(\frac{r_i}{r_p}\right)} \text{ onde } T = Kb \text{ (transmissividade)} \quad (10)$$

$$Q = \frac{2\pi T s}{\text{LN}\left(\frac{r_i}{r_p}\right)} \quad (11)$$

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.

8.6.1 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).

8.6.2 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.

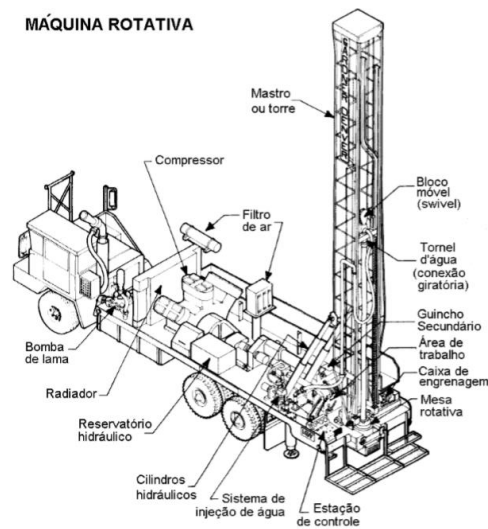


Figura 6. Esquema de máquina rotativa (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1998).

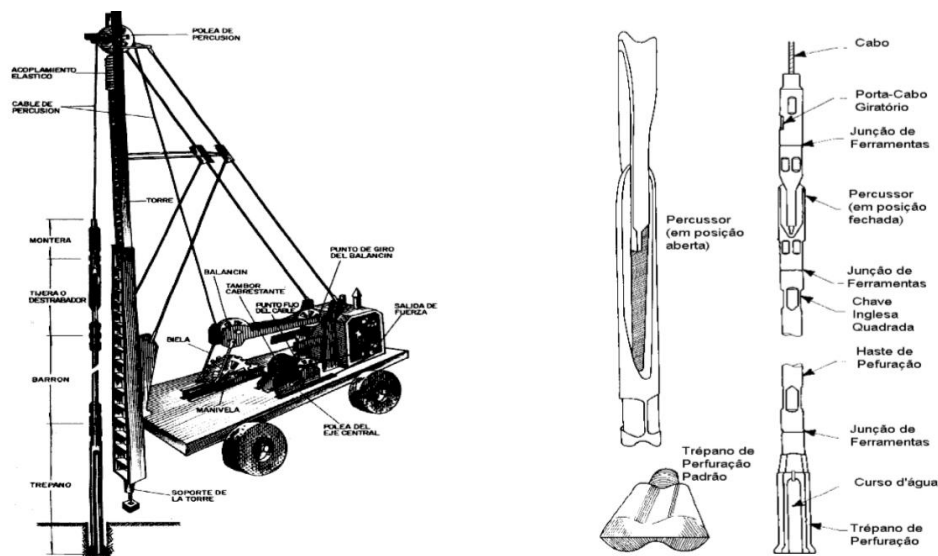


Figura 7. Esquema da máquina percussora (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 1998).



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).

8.6.3 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.

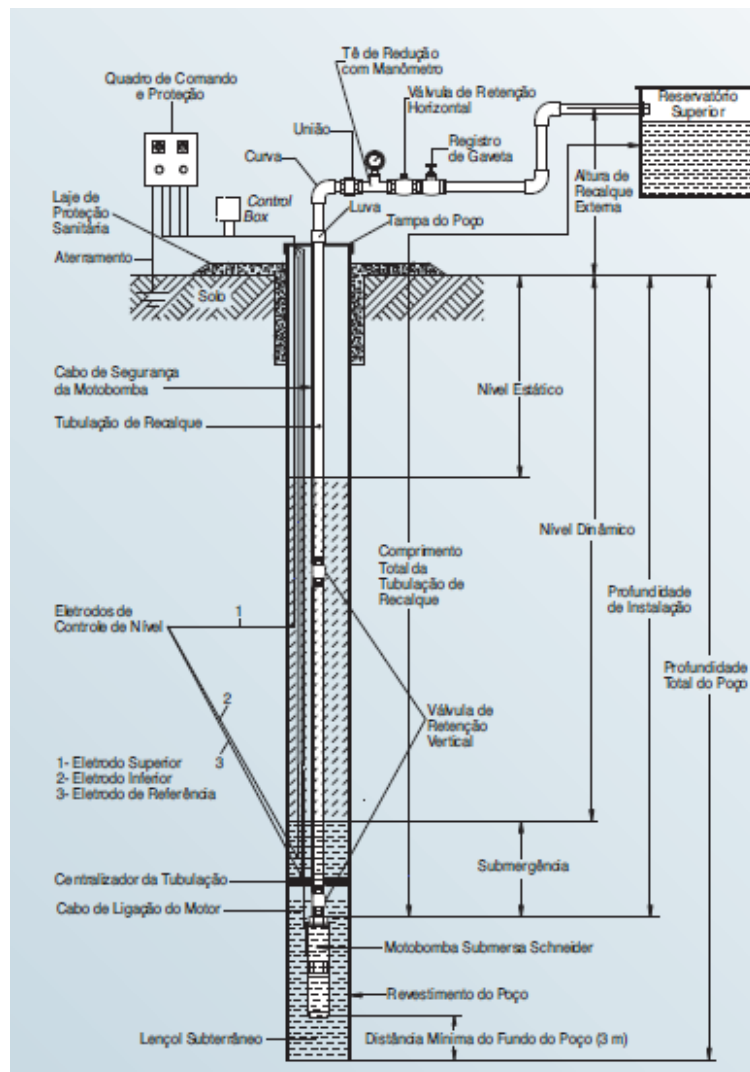


Figura 9. Desenho típico de um poço (Schneider).

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.

8.7 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		Material	Diâmetro nominal x Equivalência em metros de canalização								
			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.

8.7.1 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		
	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		
230	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.

8.7.2 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 mm ² AWG	Bitola do Fio de Cobre – Isolamento 60°C													
	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	Queda de tensão máxima admitida: 3% operando na máxima corrente especificada na placa de identificação do motor													
	kW													
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 AWG	kW	Bitola do Fio de Cobre MCM				
		250	300	350	400	500
cv		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).

8.7.3 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.

8.8 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).

8.9 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 .

8.10 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).

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (18 a)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (18 b)$$

$$W(u) = -0,5772 - LN(u) + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \quad (18 c)$$

8.10.1 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.

Os íons dominantes em águas naturais de algumas rochas podem ser resumidos conforme Tabela 10.

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

8.10.2 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:

$$\text{meq L}^{-1} = (10 \text{ a } 12) \times \text{CE (mmho cm}^{-1}) \quad (19)$$

$$\text{mg L}^{-1} = \text{ppm} = 640 \times \text{CE (mmho cm}^{-1}\text{)} \quad (20)$$

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} .

8.10.3 Precipitados químicos - reações e solubilidades

8.10.3.1 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.

8.10.3.2 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. 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).

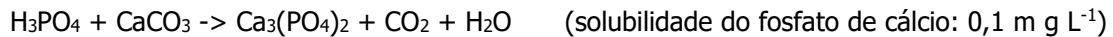
Para evitar formação de precipitados químicos, é preciso tornar IS negativo com adição de ácido. Por exemplo, o ácido clorídrico pode ser entendido através da seguinte reação:



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.

8.10.3.3 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.

8.10.3.4 Ferro



Se adicionar oxigênio (aeração)



Extra oxidação



Figura 11. Entupimento por precipitados de ferro.

8.10.3.5 Manganês



solubilidade do $\text{Mn(HCO}_3)_2 = 770 \text{ mg L}^{-1}$ Solubilidade do $\text{Mn(OH)}_2 = 3,4 \text{ mg L}^{-1}$

8.10.3.6 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.

8.10.3.7 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).

8.10.3.8 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).

8.10.3.9 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 $me \text{ L}^{-1}$ 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 $\text{pH} 8 > 1 \text{ mg L}^{-1}$.

8.10.3.10 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.

8.10.3.11 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.

8.10.3.12 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.

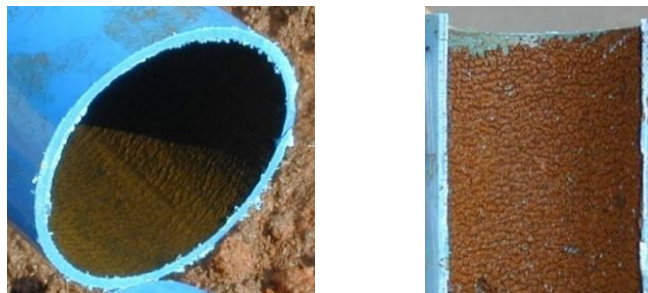
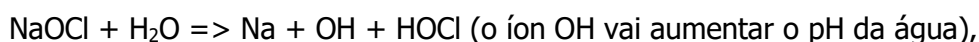


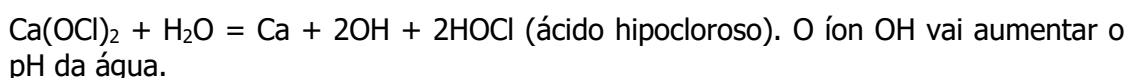
Figura 12. Depósito de lodo de bactérias ferruginosas.

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.

8.10.3.13 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).

8.11 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 9

9 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 "IrriAguaSolo". 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.

9.1 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.

9.2 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).

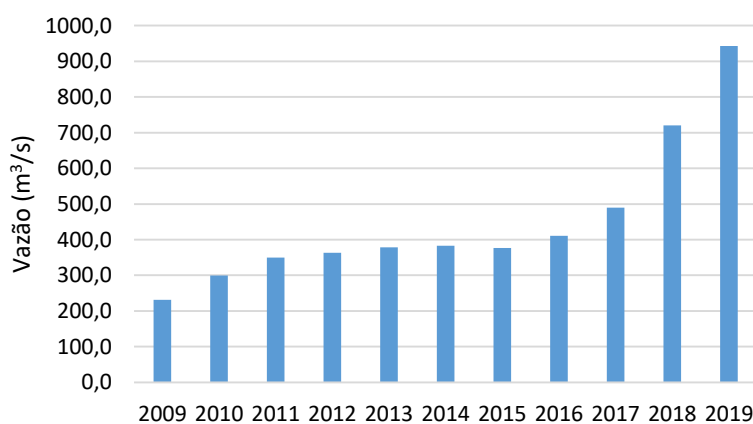


Figura 1. Evolução da Vazão Outorgada para irrigação no estado de Minas Gerais entre os anos de 2009 e 2019 (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2020).

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.

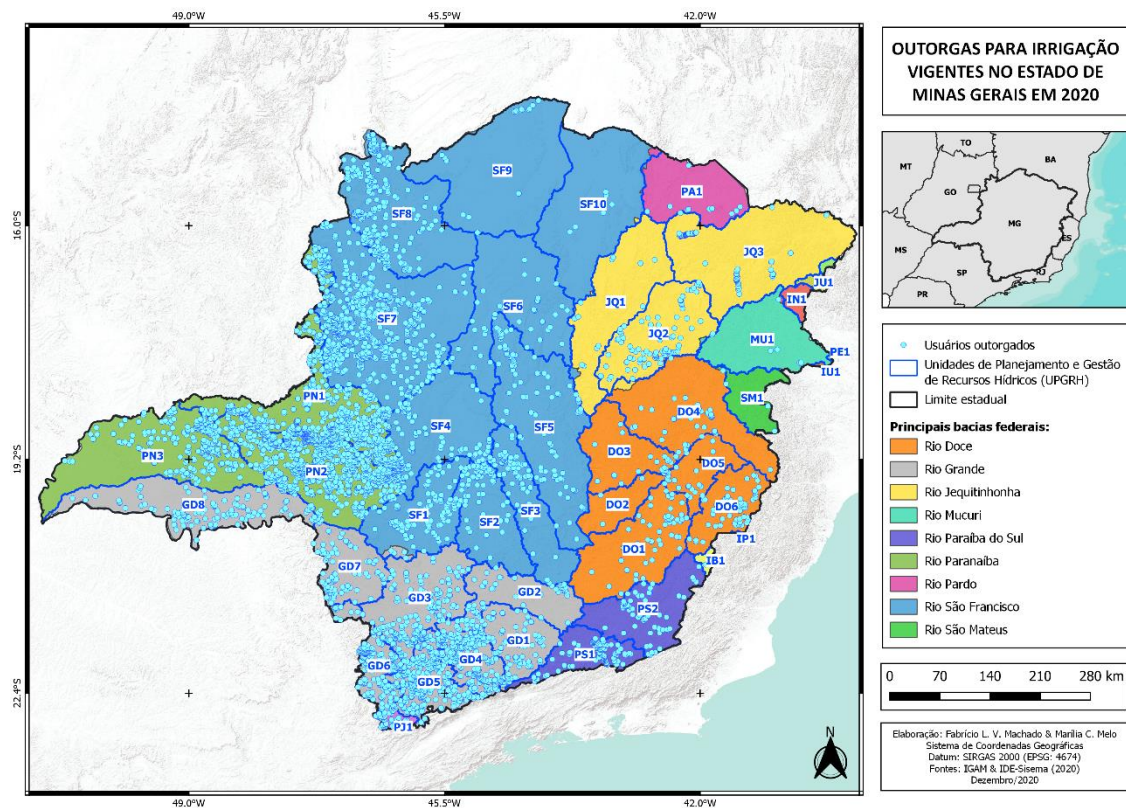


Figura 2. Outorgas para irrigação em Minas Gerais.

9.3 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.

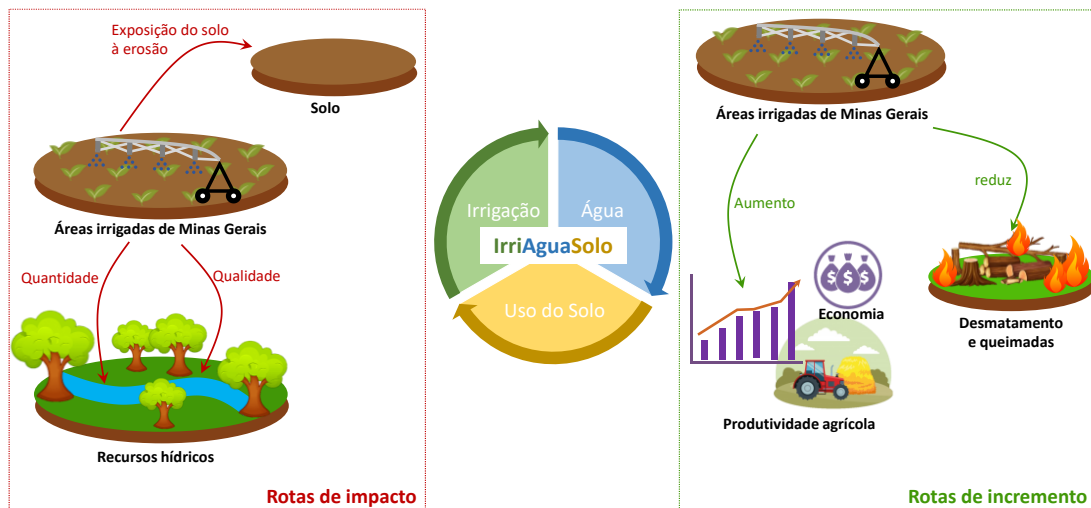


Figura 3. Modelo conceitual "IrriAguaSolo".

9.4 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.

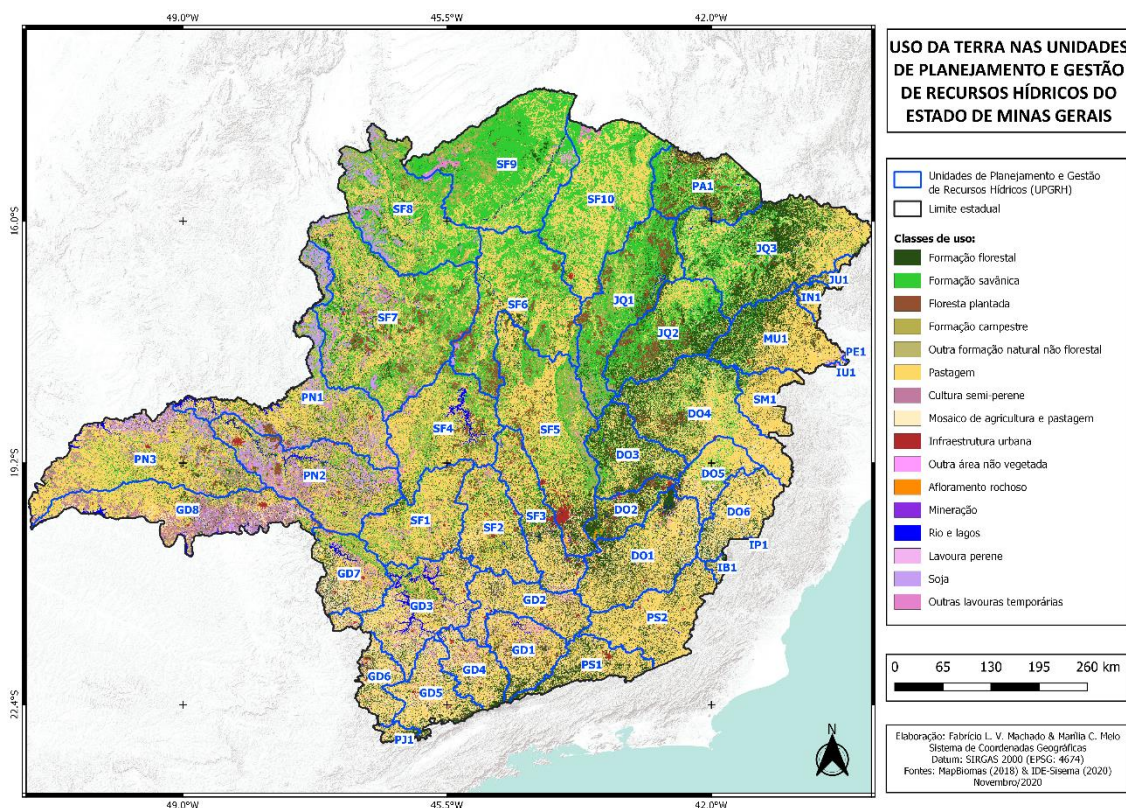


Figura 4. Uso e ocupação do solo em Minas Gerais.

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.

9.5 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.

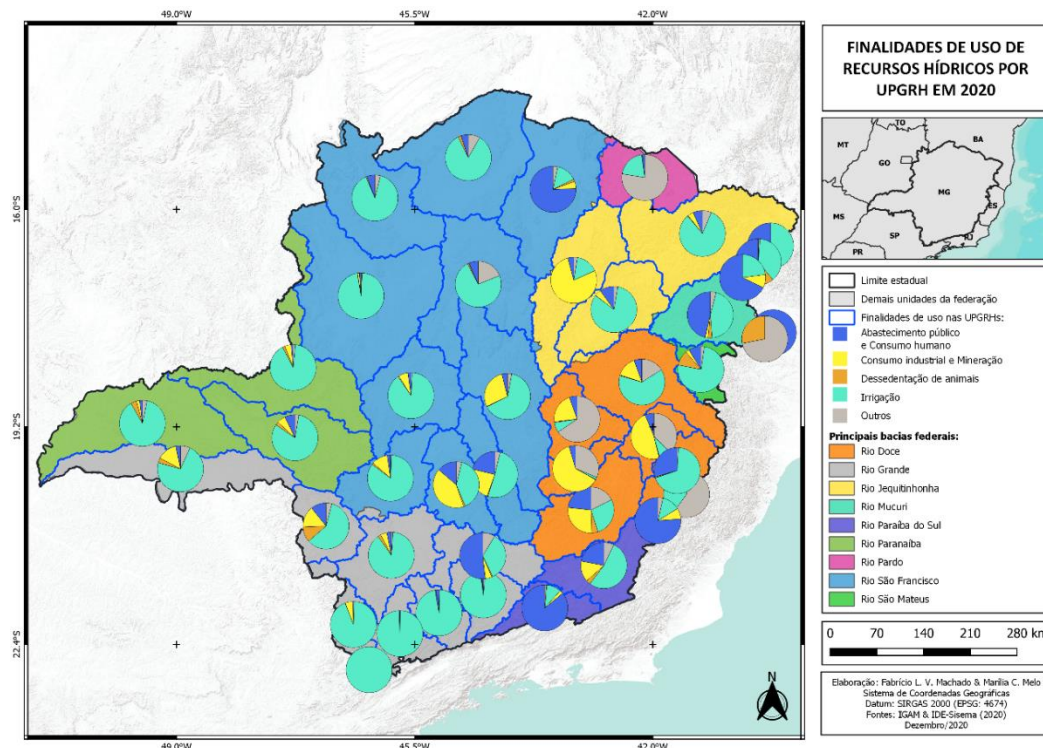


Figura 5. Distribuição das vazões das outorgadas nas principais bacias hidrográficas no estado de Minas Gerais.

9.6 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 Normais Climatológicas do Brasil (RAMOS *et al.*, 2009), há de se considerar também o papel do uso do solo na elevação observada do parâmetro turbidez.

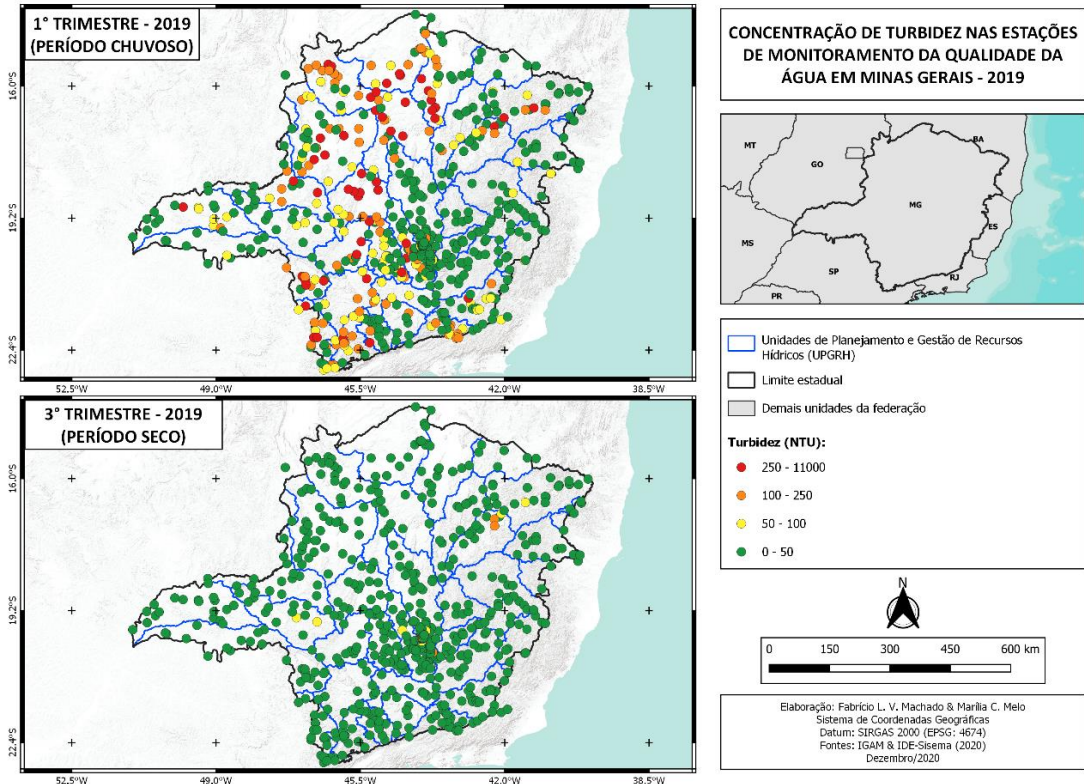


Figura 6. Comparação do parâmetro turbidez nas estações de monitoramento da qualidade da água nos períodos seco e úmido de Minas Gerais em 2019.

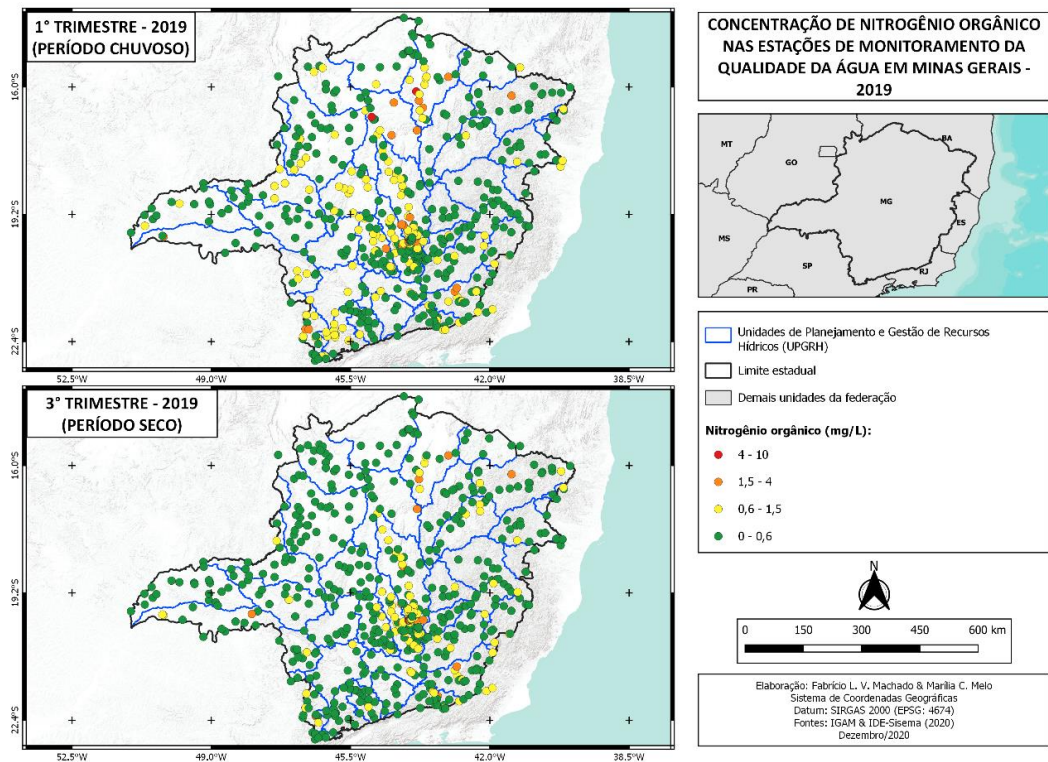


Figura 7. Comparação do parâmetro nitrogênio orgânico nas estações de monitoramento da qualidade da água nos períodos seco e úmido de Minas Gerais em 2019.

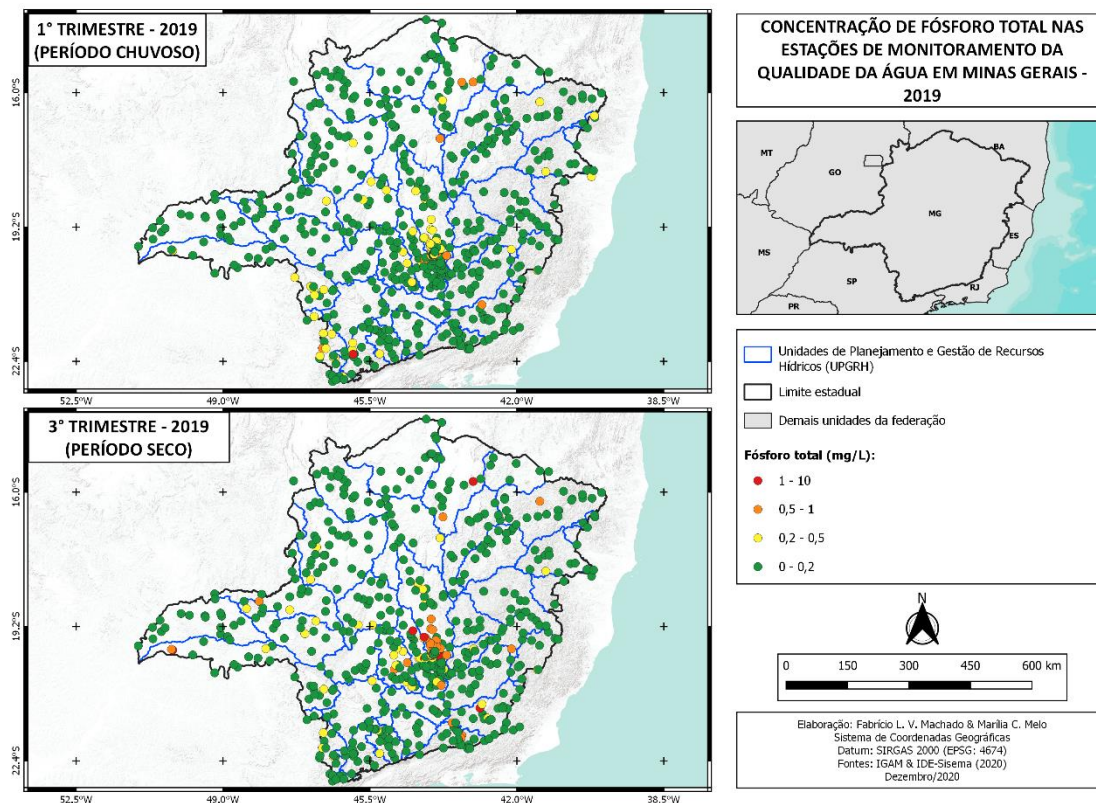


Figura 8. Comparação do parâmetro fósforo total nas estações de monitoramento da qualidade da água nos períodos seco e úmido de Minas Gerais em 2019.

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).

9.7 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).

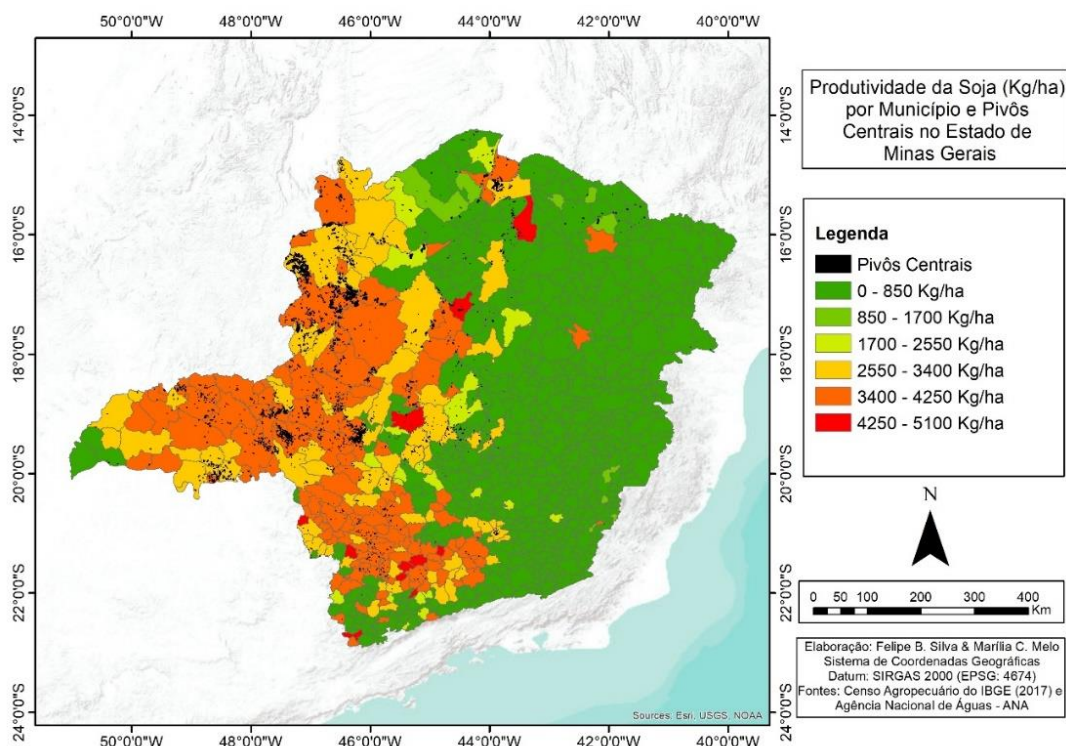


Figura 9. Produtividade por município no Estado de Minas Gerais - Soja.

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.

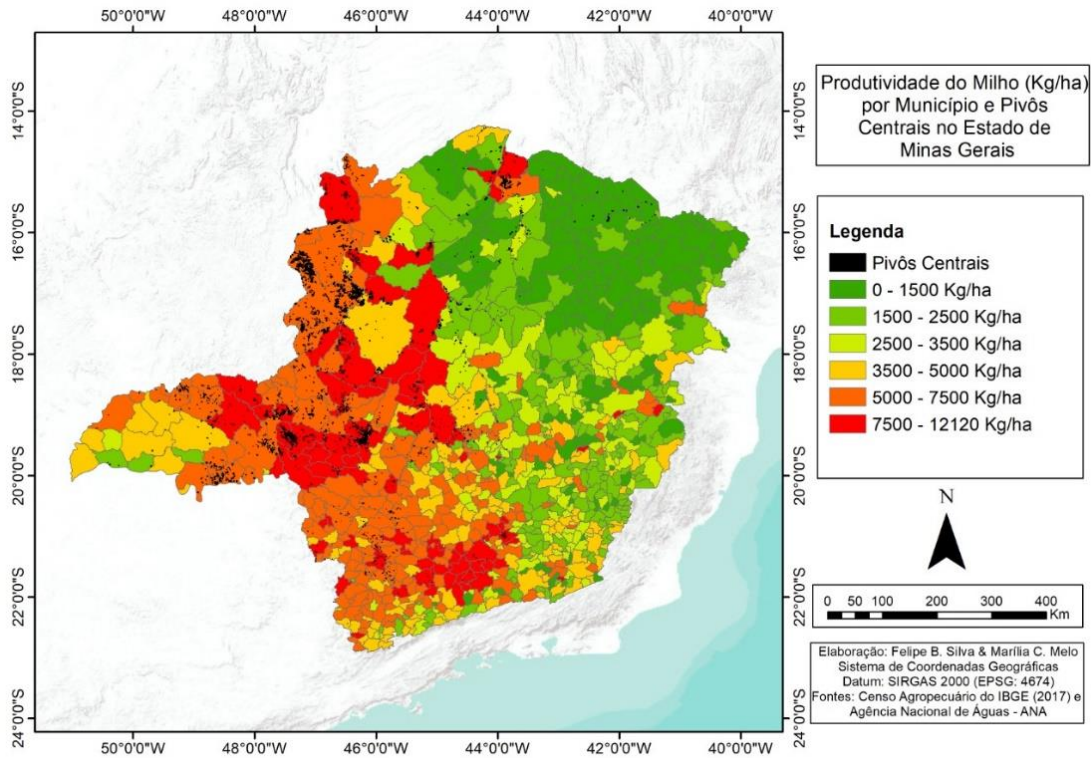


Figura 10. Produtividade de milho (grão) por município no Estado de Minas Gerais.

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%).

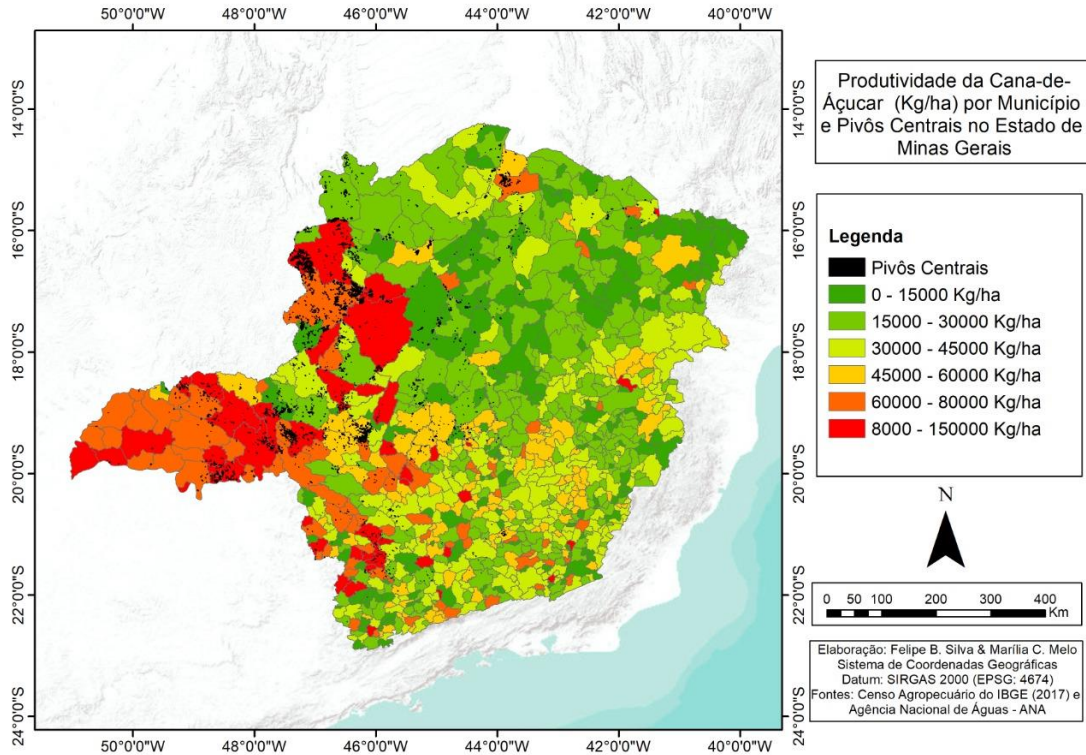


Figura 11. Produtividade de cana-de-açúcar por município no Estado de Minas Gerais.

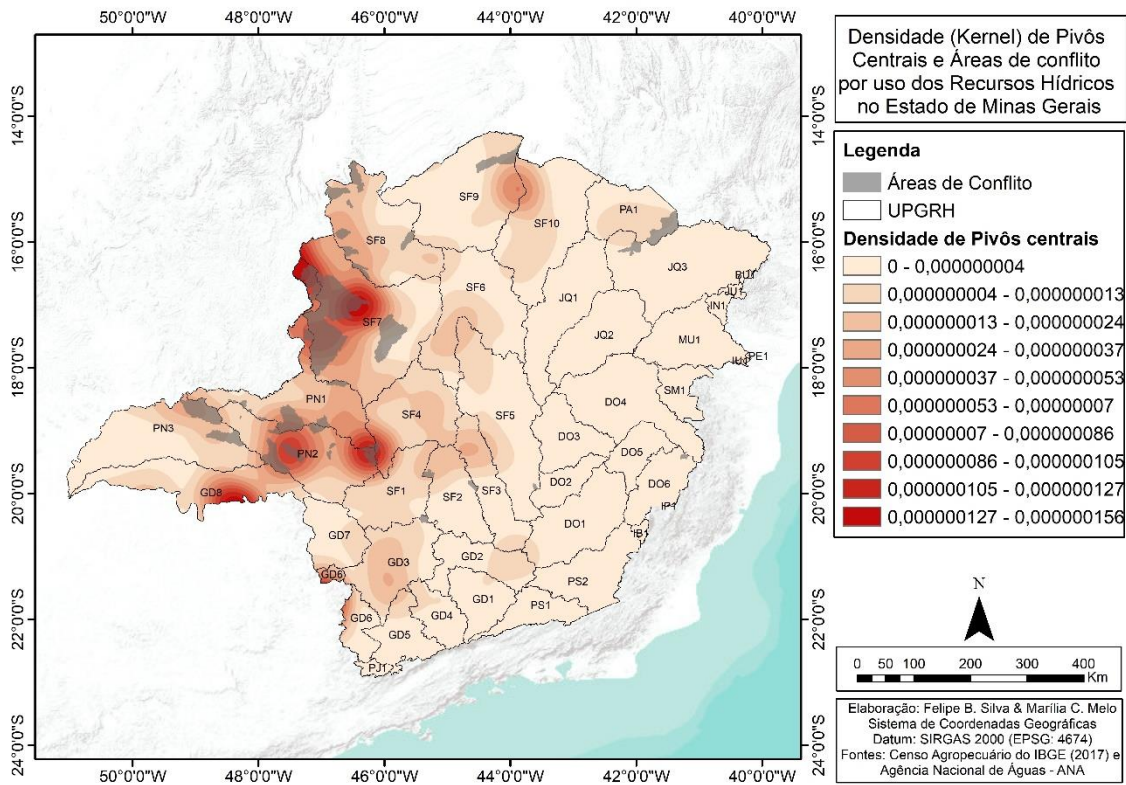


Figura 12. Densidade de pivôs centrais e as áreas de conflito por uso dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.

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.

9.8 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](https://doi.org/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.; NUÑEZ, 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 10

10 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.

10.1 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.

10.2 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.

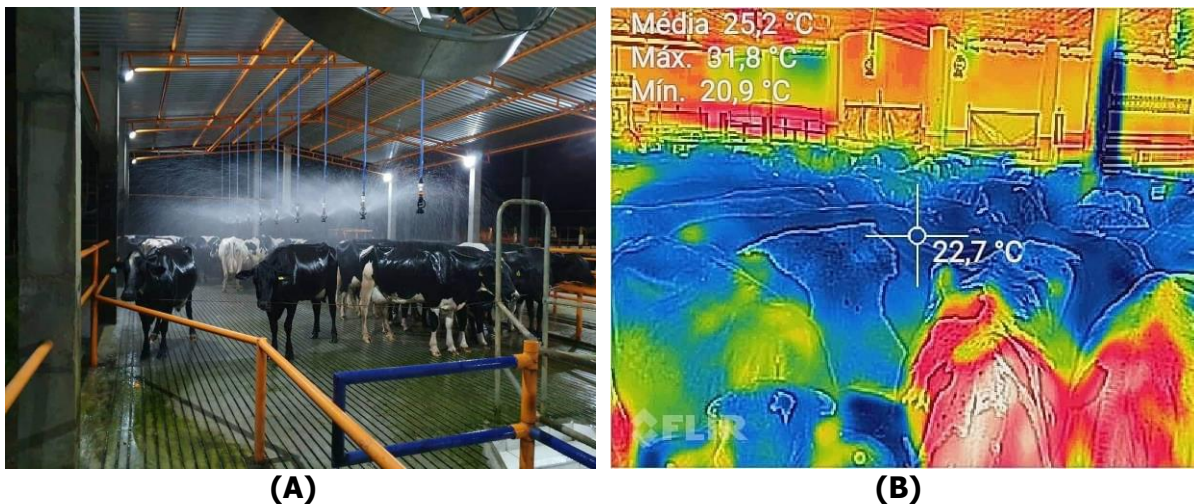


Figura 2. Controle de ambiente para conforto animal com aspersores (A) e sensores de temperatura (B).



Figura 3. Sistema de irrigação por (A) carretel (IRRIGABRASIL, 2020) e (B) barra irrigadora.

10.3 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.

10.4 Irrigação de algumas culturas

Podemos citar alguns casos de versatilidade dos sistemas de aspersão e exemplo de tecnologia de aplicação.

10.4.1 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.

10.4.2 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).

10.4.3 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.

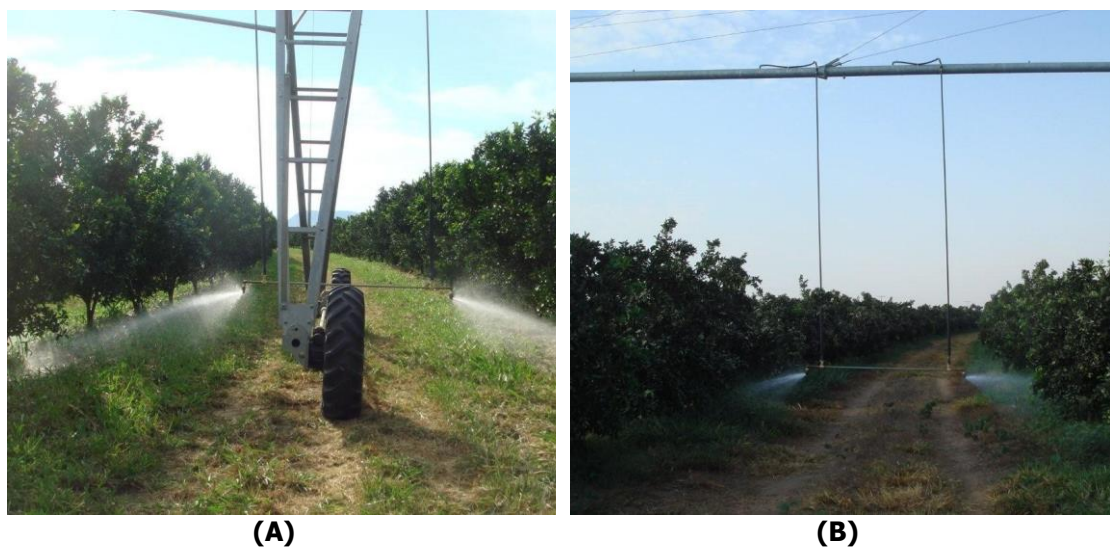


Figura 8. Pivô central. Aspensor tipo Spray direcional irrigando citros: instalados junto à torre (A) e ao vão (B).

10.5 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.

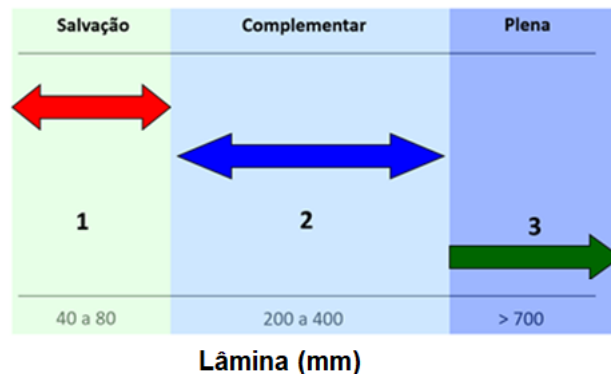


Figura 9. Seleção do sistema de irrigação em função do tipo de irrigação (salvação, complementar e plena) e da lâmina aplicada.

10.6 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 11

11 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 consequentemente, maior rentabilidade aos irrigantes.

11.1 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.

11.2 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 de 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.

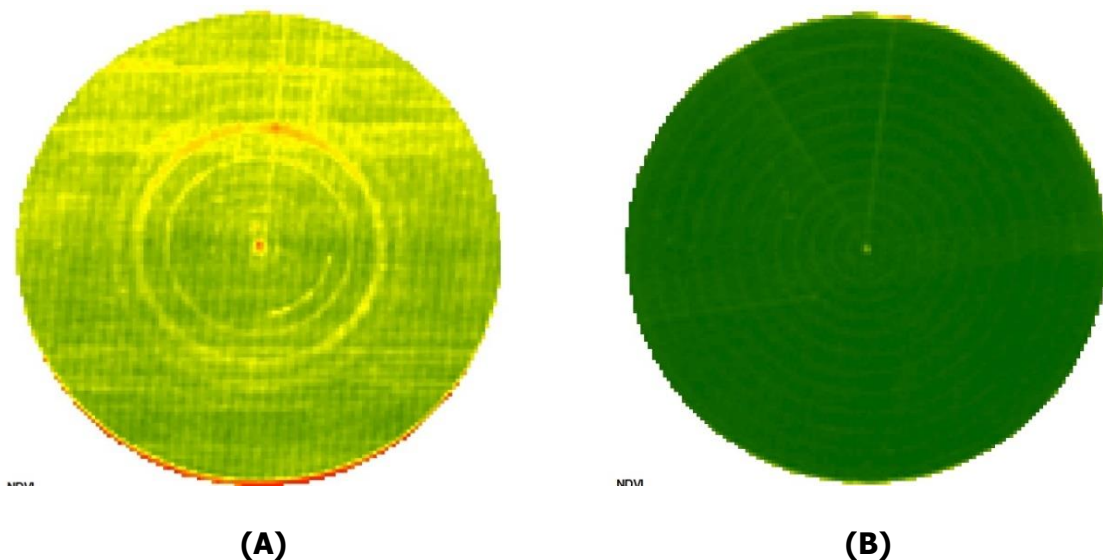


Figura 1. Imagens com tratamento NDVI apontando manchas circulares na cultura, devido à desuniformidade na distribuição da lâmina de irrigação (A), e cultura uniforme após a adequação do sistema (B).

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.

11.3 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.

11.4 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.

11.5 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 conseqüentemente, 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.

11.6 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 conseqüentemente, 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.

11.7 Análise das principais culturas irrigadas

11.7.1 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.

11.7.2 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).

11.7.3 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.

11.7.4 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.

11.7.5 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.

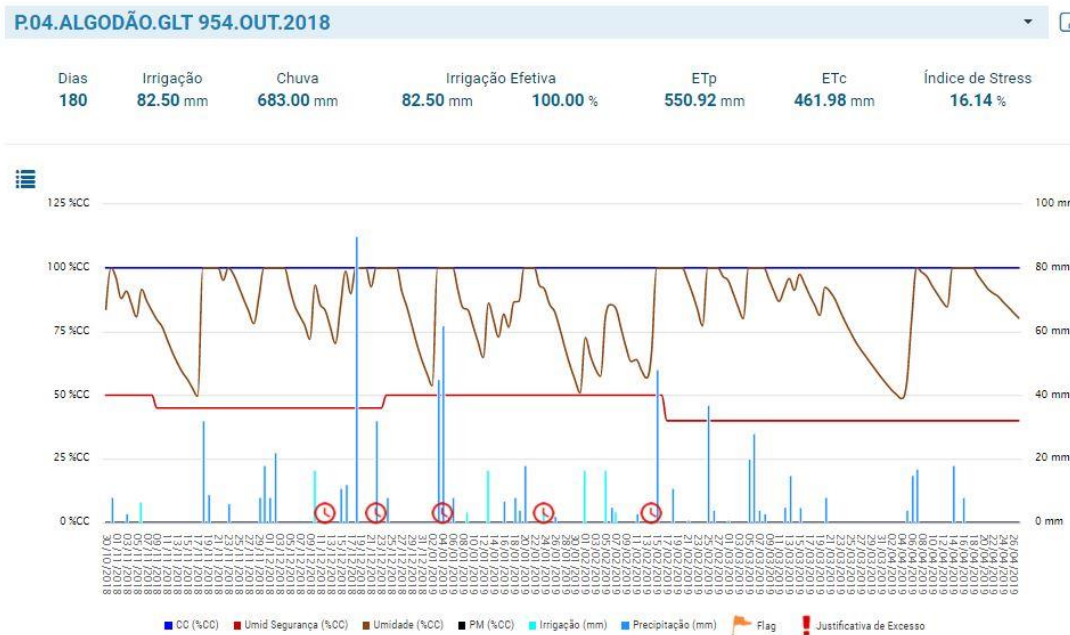


Figura 4. Evolução da umidade do solo estimada pelo software Irriger Connect na cultura do algodão com os valores de irrigação e chuva, dentro dos limites de CC, f e PMP.

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.

11.8 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.

MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C.; SOUSA, V.F. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, 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.

MAROUELLI, 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 12

12 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.

12.1 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).

12.2 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).

12.3 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).

12.4 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.

12.4.1 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.

12.4.2 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.

12.4.3 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.

12.4.4 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.

12.4.5 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.

12.4.6 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.

12.4.7 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.

12.5 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).

12.6 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.

12.7 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}):

$$FARI = \frac{I}{ETc - P_{ef}} \quad (2)$$

12.8 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):

$$EEB (\%) = \frac{V}{3,6 \cdot H} \cdot 0,736 \cdot 100 \quad (3)$$

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).

12.9 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

12.10 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

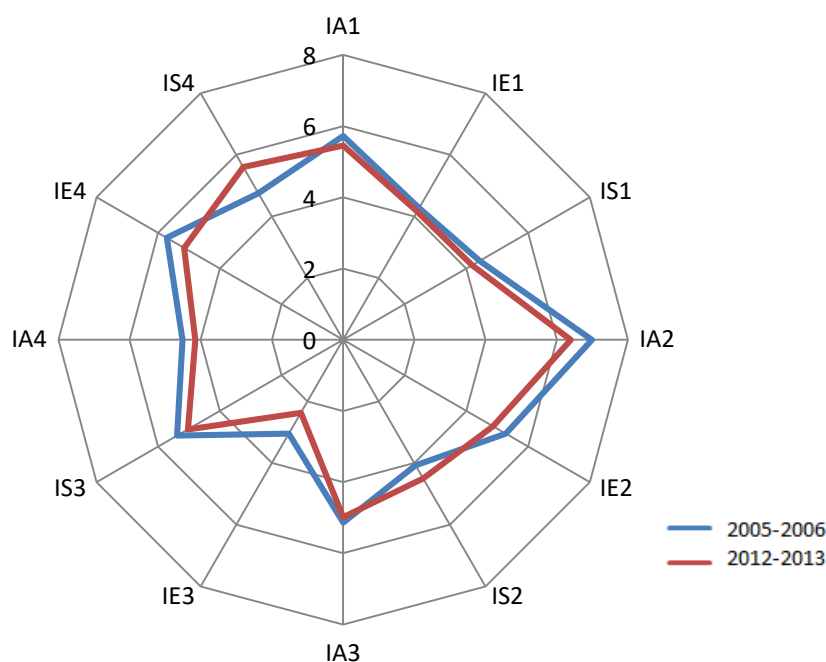


Figura 1. Radar (índice de sustentabilidade) da província de Almeria, Espanha (FACCIOLI, 2019).

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%).

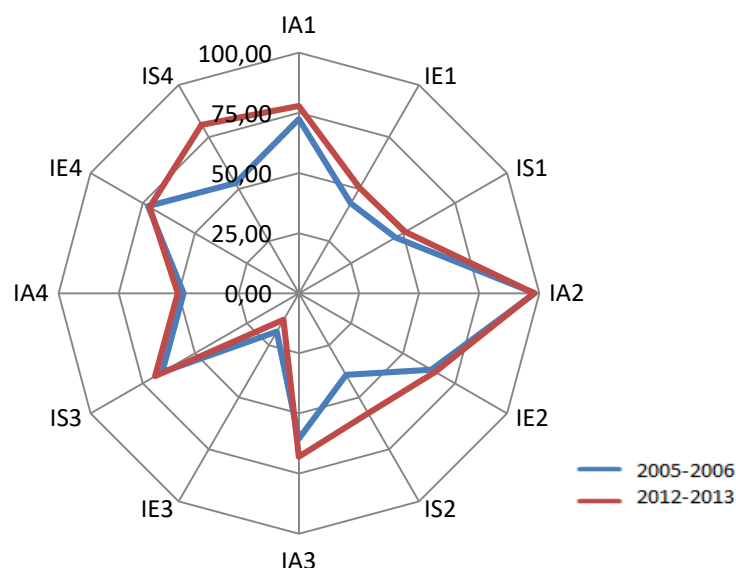


Figura 2. Radar (índice de sustentabilidade) da província de Almeria, Espanha (FACCIOLI, 2019).

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.

12.11 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: Precisoções 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.

CAPÍTULO 13

13. UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM AGRICULTURA IRRIGADA

Petterson Costa Conceição Silva, Paulo Vitor Santa Rosa Silva, Alide Mitsue Watanabe Cova, Mairton Gomes da Silva, Thainan Sipriano dos Santos, Vital Pedro da Silva Paz, Hans Raj Gheyi

Resumo

O aumento extensivo da urbanização das cidades associado a escassez de recursos naturais tem preocupado pesquisadores em todo mundo. No Brasil, há atualmente mais de 1,2 milhão de pessoas sem acesso a água potável e para aqueles que têm, o tempo de inatividade do abastecimento de água, a interrupção no serviço e as deficiências nos sistemas de água potável continuam sendo um problema. Apenas 2,5% de toda água disponível é considerada a água doce e dela, cerca de 0,3% é potável e estão facilmente disponíveis na forma de rios e lagos. No mundo a agricultura utiliza aproximadamente 70% da água captada por todos os setores e diante deste contexto, diversas alternativas de uso de água para agricultura vêm sendo discutidas, a fim de garantir uma maior disponibilidade para outros usos. Este capítulo apresenta as resoluções e normas brasileiras relacionadas ao uso de água de esgoto doméstico tratado na agricultura. Além disso, são apresentados os impactos do uso destas águas no meio ambiente e seus benefícios na produção das culturas em geral.

13.1 Introdução

A demanda por água está aumentando à medida que a população mundial cresce e cada vez mais a urbanização está ocorrendo em todo o mundo. Por outro lado, a disponibilidade de recursos hídricos é limitada, aumentando a competição por diferentes usos e interesses da água (urbano, agrícola e ambiental) e diminuindo o acesso à água de boa qualidade (SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2009).

A edição de 2018 do Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água (RMDA) da Organização das Nações Unidas (ONU) forneceu uma atualização sobre as tendências atuais de disponibilidade de água potável e expectativas futuras. Este relatório descreve que a segurança hídrica, a capacidade de uma população de garantir o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável, já está em risco para muitos, e a situação se tornará pior nas próximas décadas para cerca de 7,7 bilhões de pessoas no mundo (BORETTI; ROSA, 2019). A pressão sobre o sistema hídrico aumentará até 2050, quando a população mundial atingirá entre 9,4 e 10,2 bilhões. A tensão será agravada pelo crescimento populacional desigual em diferentes áreas não relacionadas aos recursos locais. A maior parte desse crescimento populacional é esperado em países em desenvolvimento, primeiro na África e depois na Ásia, onde a escassez de água potável já é um problema importante (BORETTI; ROSA, 2019).

A mudanças climáticas também têm afetado a disponibilidade hídrica devido ao aumento das taxas de evapotranspiração e consequente diminuição das vazões de cursos d'água. Este fenômeno pode afetar diretamente as fontes de captação de água utilizada para o consumo humano e animal. A escassez de água prejudica a higiene doméstica e comunitária, reduz os rendimentos agrícolas e pode aumentar as doenças infecciosas transmitidas pela água (cólera, outros organismos diarreicos, *Cryptosporidium*, etc.). Em situações mais

extremas, a escassez de água prontamente se torna uma causa de tensão e conflito aberto, com inevitáveis consequências adversas para a saúde e segurança das pessoas (McMICHAEL; LINDGREN, 2011).

Diante de todos estes problemas, outro fator agravante observado no RMDA está relacionado com a poluição ambiental. A poluição dos recursos hídricos está diretamente relacionada com o aumento da população e o crescimento econômico. Atualmente, 12% da população mundial consome água de fontes inseguras e mais de 30% da população, (2,4 bilhões de pessoas), vive sem qualquer forma de saneamento, e a falta de saneamento contribui para a poluição dos corpos hídricos (BORETTI; ROSA, 2019). Em países em desenvolvimento, cerca de 90% do esgoto doméstico é despejado nos corpos d'água sem qualquer tipo de tratamento (BORETTI; ROSA, 2019).

Com o objetivo de reduzir estes possíveis cenários, uma das alternativas que vem sendo discutidas é a utilização da água proveniente de esgotos domésticos tratados para fins agrícolas. Estas águas podem ajudar na manutenção da demanda hídrica na agricultura, fornecendo uma fonte adicional e sustentável de água e assim, contribuindo para a garantia do fornecimento de água doce para o consumo em centros urbanos.

Apesar dos vários benefícios da irrigação, que comprovadamente propiciam maiores rendimentos das culturas (ANDRÉS *et al.*, 2020), em regiões áridas e semiáridas de várias partes do mundo a escassez dos recursos hídricos impede a expansão dessa atividade (KHALEGHI *et al.*, 2020). Com esse cenário de escassez de água em termos de qualidade e quantidade (MKHWANAZI; VILANE, 2018; BARROS *et al.*, 2020), águas de qualidade inferior, como as residuárias provenientes de uso doméstico têm sido utilizadas na irrigação, servindo de aporte hídrico e nutricional para as plantas (ABD-ELWAHED, 2018; CARVALHO *et al.*, 2018; DANTAS *et al.*, 2018; OFORI *et al.*, 2021).

13.2 Uso da água para irrigação

A agricultura irrigada é uma atividade bastante utilizada em todo o Brasil, e dos usos consuntivos da água, é a atividade que mais explora os recursos hídricos, necessitando de uma maior atenção dos órgãos gestores para seu uso racional e ao mesmo tempo aumentar e garantir a produção de alimentos. Em regiões de clima quente e seco, como no semiárido, a prática da irrigação é essencial e visto como a única forma de garantir a produção agrícola (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2012). Em áreas como o semiárido, a agricultura é dependente da irrigação, e a irrigação depende da qualidade e da quantidade de água disponível para atender as demandas hídricas das culturas e propiciar a lixiviação, evitando o acúmulo de sais no solo (MIRANDA *et al.*, 2011).

No Brasil, a maior parte da vazão de água potável consumida na agricultura gira em torno de 68,4% do uso da água. O uso da água para agricultura é um uso consuntivo, ou seja, uma vez retirada, total ou parcialmente, a água não poderá ser utilizada a jusante, visto que, parte é evapotranspirada pelas plantas e se incorporam com o vapor atmosférico. O aumento no consumo de água pela irrigação é impulsionado, principalmente, devido ao aumento da temperatura e das altas demandas evaporativas associadas (WADA; BIERKENS, 2014).

De acordo com as projeções realizadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), como mostra a Figura 1, com exceção do abastecimento urbano rural, até o ano de 2030 haverá uma tendência crescente na retirada da água em todos os setores, sobretudo na irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019).

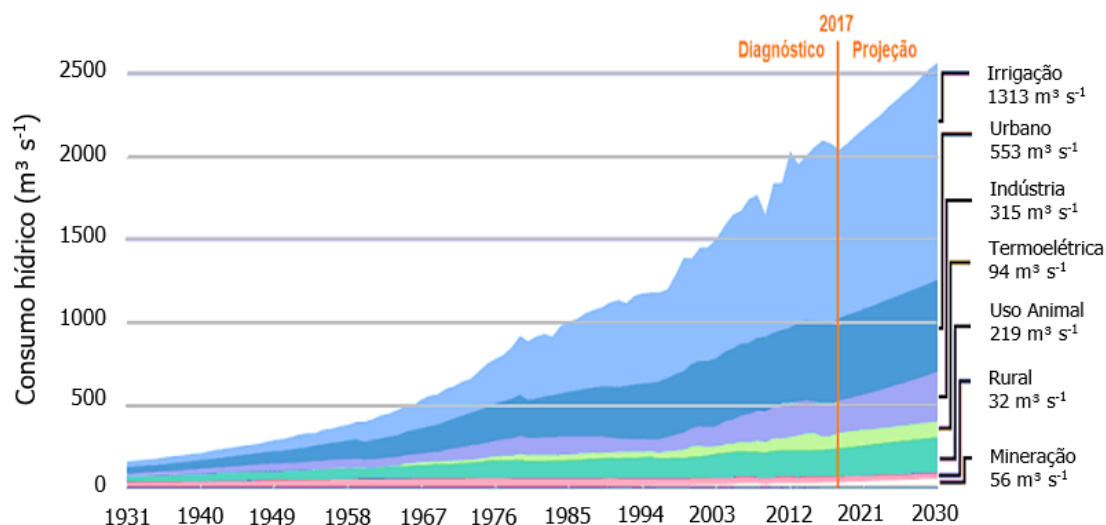


Figura 1. Evolução da retirada de água no Brasil, por setor (1931-2030), em m³ s⁻¹ (Adaptado da AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019)

Portanto, de acordo com as projeções apresentadas na Figura 1, conclui-se que o consumo de água pela agricultura não se manterá sustentável sem o desenvolvimento de fontes alternativas de suprimentos para complementar as fontes convencionais de água doce. Diante disto, diversos estudos têm reportado que o aproveitamento de águas residuárias tratadas na agricultura irrigada pode aumentar a disponibilidade hídrica, principalmente em regiões áridas e semiáridas e promover o controle de poluição (HESPANHOL, 2002; OFORI *et al.*, 2021).

13.3 Uso de efluentes domésticos na agricultura e legislação vigente no Brasil

O uso de águas residuárias data de vários séculos atrás. No início do século 20, as maiores cidades da Europa já utilizavam as águas residuárias, ficando conhecidas como "fazendas de esgoto" (OFORI *et al.*, 2021). A *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) relata que aproximadamente 10% da área irrigada do globo utilizam água residuária tratada e não tratada, abrangendo 20 milhões de hectares em 50 países (WINPENNY *et al.*, 2013). A Figura 2 apresenta uma estimativa das áreas irrigadas com esgoto tratado e não tratado em alguns países.

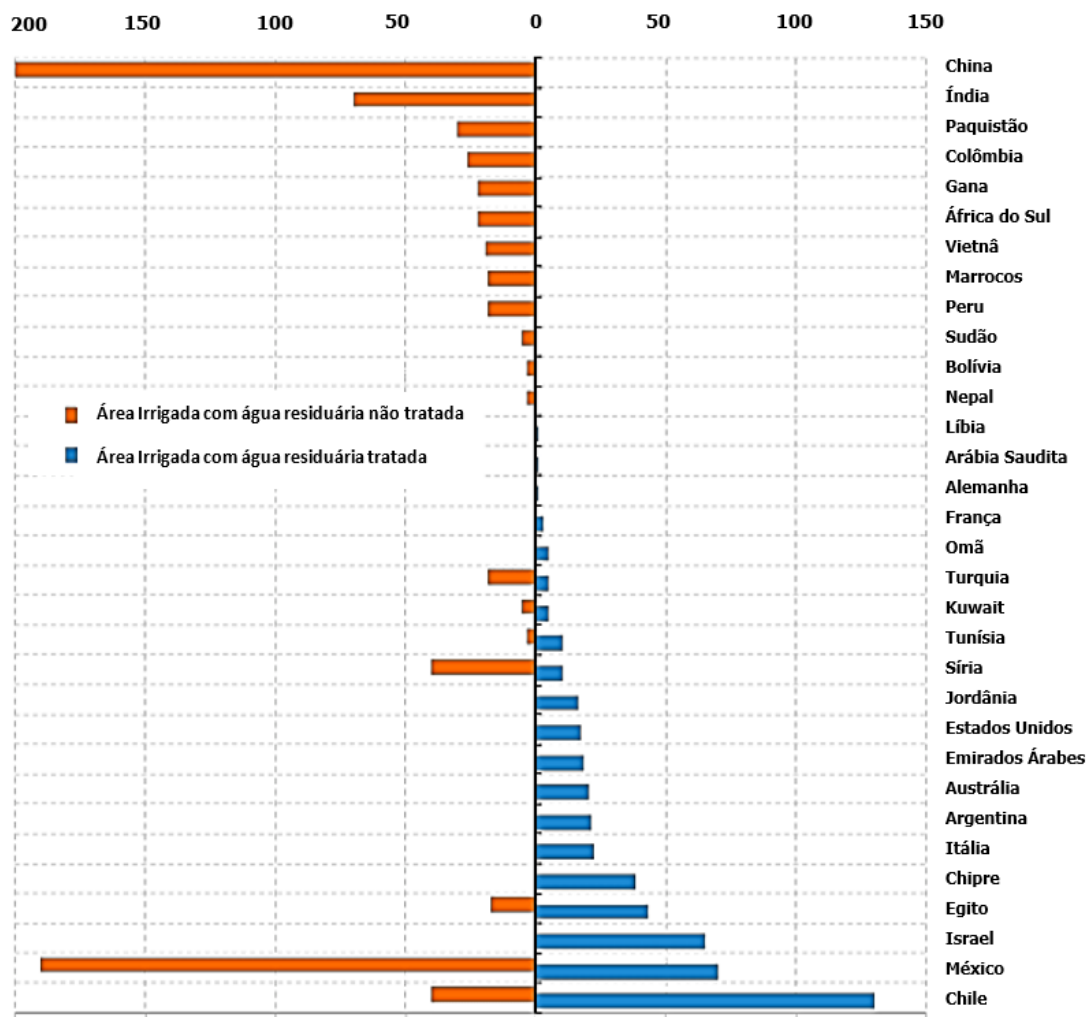


Figura 2. Áreas irrigadas com águas residuárias tratadas e não tratadas, por país.
Fonte: Adaptado de Jiménez e Asano (2008).

A prática do reúso de esgoto tratado permite que se direcionem os recursos hídricos de melhor qualidade para fins mais nobres, o que traz benefícios sociais, econômicos e para o meio ambiente, como a redução de custos agrícolas devido ao grande potencial de nutrientes e matéria orgânica, o que proporciona uma agricultura sustentável e favorece o desenvolvimento rural (SANDRI; ROSA, 2017). Países como Israel e Tunísia tem demonstrado uso sustentável e satisfatório com as águas residuárias na agricultura para complementar suas demandas hídricas (BEDBABIS *et al.*, 2014; REZNIK *et al.*, 2017). Os méritos da prática do reúso são diversos, e um deles reduzir a pressão no suprimento de água doce, evitar o lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais (em sua maioria intermitentes) e costeiros, além de reaproveitar os nutrientes contidos nos esgotos como fertilizantes para as culturas ao invés de potencializar a eutrofização dos corpos d'água (CHEN *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Além disso, a aplicação de esgoto bruto ou tratado no solo promove a autodepuração, reduzindo sua carga poluidora através de processos físicos, químicos e biológicos (GLOAGUEN *et al.*, 2007), através da infiltração (até atingir o lençol subterrâneo); incorporação pela vegetação e lançamento parcial para atmosfera (através da evapotranspiração); incorporação ao solo (através de reações químicas); evaporação direta para atmosfera (PLETSCH, 2012).

Apesar das vantagens citadas referentes ao reúso, a utilização de efluentes na agricultura requer práticas tecnicamente adequadas de tratamento e disposição no ambiente, pois, essas águas, além de apresentar consideráveis concentrações de íons dissolvidos como sódio, boro e cloretos, contêm variadas espécies de organismos patogênicos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos, o que forma um cenário dificultador para utilização na agricultura (ANDRADE FILHO *et al.*, 2013).

Se por um lado, a reutilização de efluentes pode suprir em parte a falta de água na irrigação, por outro, a regulamentação e o controle dessa prática, pode diminuir a ocorrência de contaminação do solo e das culturas, possibilitando o uso desses efluentes na irrigação (SILVA *et al.*, 2016).

A ANA é uma entidade Federal responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico e é integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). A ANA também é a responsável por declarar a situação crítica de escassez quantitativa ou qualitativa de recursos hídricos nos corpos hídricos que impacte o atendimento aos usos múltiplos localizados em rios de domínio da União, com base em estudos e dados de monitoramento, observados os critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). O CNRH estabelece na Lei 11.6129, de 08 de outubro de 2009, os procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água, na modalidade reúso para fins agrícolas e/ou florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas. A definição de reúso seguindo as diretrizes pode se dividir em: reúso direto e reúso indireto. O reúso direto refere-se ao uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Entretanto, para ser aplicado desta forma exige a implantação de estações de tratamento para adequar a qualidade do efluente ao seu respectivo uso. Já o reúso indireto está relacionado com a aplicação de uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, sendo descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída (OTENIO, 2015).

13.4. Composição química dos efluentes domésticos e seus impactos ambientais

Ayers e Westcot (1999) relatam que a maior limitação referente ao uso de efluentes na agricultura é devido a sua composição química, como os sais dissolvidos, íons tóxicos e concentração de sódio, bem como a tolerância das culturas ao uso de efluente doméstico tratado. Porém, os efeitos da aplicação de efluentes nas propriedades químicas do solo só se manifestam após um longo período de aplicação.

Durante muitos anos existiam grandes restrições relacionadas ao reúso de água oriundas de esgoto doméstico tratado. Porém, ainda é muito limitado o conhecimento das características reais e concentração de contaminantes em águas de efluentes domésticos devido à heterogeneidade e grande número de fontes (Tabela 1). A qualidade das águas é agrupada em características como a cor e turbidez, estas diretamente relacionadas com a presença de sólidos em suspensão. Além disso, a concentração de sais dissolvidos, oxigênio dissolvido são importantes para o equilíbrio da vida animal e vegetal nos corpos d'água (PIVELI; KATO, 2005).

Tabela 1. Valores médios dos principais parâmetros físico-químicos de diferentes fontes de água de esgoto doméstico tratado no Brasil.

Parâmetros	Valores médios		Referências
	(mg L ⁻¹)		
DBO	60		Rego <i>et al.</i> (2005)
	-		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	0,9 - 65		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	27		Brito <i>et al.</i> (2014)
DQO	215		Rego <i>et al.</i> (2005)
	324,3		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	10 - 694		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	80		Brito <i>et al.</i> (2014)
Sódio	89		Rego <i>et al.</i> (2005)
	164,6		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	22,5 - 116,6		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	161,69		Brito <i>et al.</i> (2014)
Potássio	22		Rego <i>et al.</i> (2005)
	36,4		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	13,3 - 53,3		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	924,3		Brito <i>et al.</i> (2014)
Cálcio	-		Rego <i>et al.</i> (2005)
	11,9		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	32,1 - 150,7		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	47,6		Brito <i>et al.</i> (2014)
Magnésio	-		Rego <i>et al.</i> (2005)
	15,8		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	20,6 - 62,9		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	18,24		Brito <i>et al.</i> (2014)
Cloreto	67		Rego <i>et al.</i> (2005)
	164,6		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	38,3 - 186,2		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	81,53		Brito <i>et al.</i> (2014)
Fósforo	3,4		Rego <i>et al.</i> (2005)
	36,6		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	0,3 - 10,3		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	3,8		Brito <i>et al.</i> (2014)
Sólidos suspensos	-		Rego <i>et al.</i> (2005)
	68		Freitas <i>et al.</i> (2018)
	22,4 - 114,6		Dantas <i>et al.</i> (2018)
	193		Brito <i>et al.</i> (2014)

Braga *et al.* (2005) reportaram que existe uma variação na qualidade do esgoto produzido em função da: época do ano, clima, pressão e qualidade da água distribuída na rede de água, estado de conservação dos aparelhos sanitários, entre outros. De forma geral, os efluentes domésticos apresentam cerca de 99,9% de água, os microrganismos e os sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos compõem o restante, sendo eles os

responsáveis pela necessidade do tratamento dos esgotos (DALTRO FILHO, 2004; VON SPERLING, 2005).

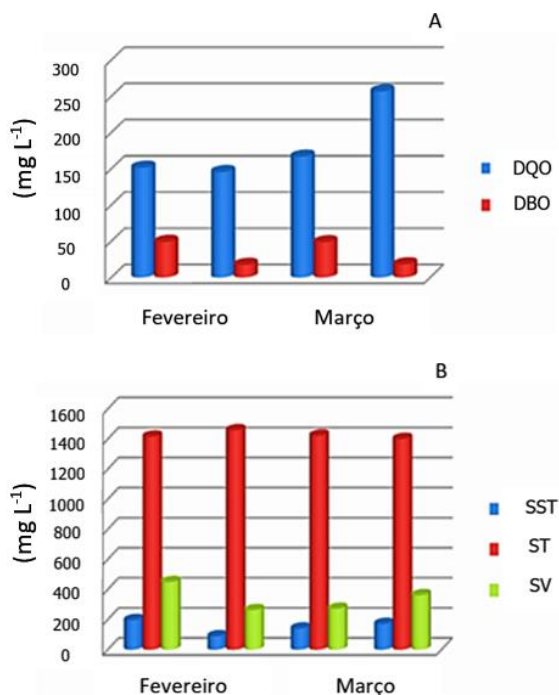


Figura 3. Comportamento das variáveis: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos solúveis totais (SST) e sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) em efluente doméstico tratado em diferentes épocas (ZAIDAN, 2010).

Dependendo da qualidade da água de reúso, alguns efeitos negativos também podem ser verificados. Estes efeitos variam desde a contaminação microbiológica quando a presença de metais pesados e resíduos de agrotóxicos. Alguns estudos realizados com o uso de efluentes domésticos tratados têm reportado a contaminação do solo e plantas pela presença de coliformes (CASTRO *et al.*, 2013).

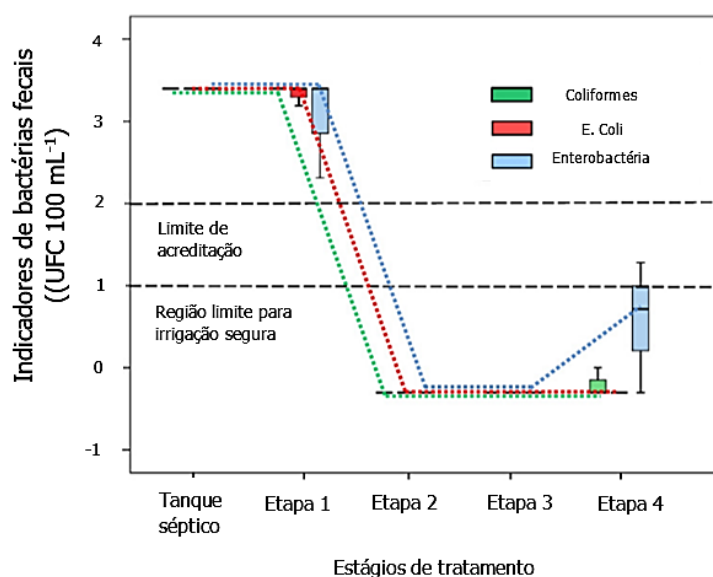


Figura 4. Indicador de bactérias fecais em diferentes etapas de tratamento de efluentes para irrigação (Adaptado de DERRY; MAHESHWARI, 2015).

Entretanto, Derry e Maheshwari (2015) mostraram que quanto maior forem as etapas de tratamento, menor a presença de coliformes na água de reúso (Figura 4). Normalmente, as estações de tratamento de esgoto associam diferentes técnicas de tratamentos para gerar um efluente dentro dos padrões legais para descargas em corpos d'água.

As lagoas de estabilização podem ser divididas em: lagoa facultativa, lagoa aerada, lagoa anaeróbica, lagoa de maturação e lagoa de polimento. Essas lagoas demandam grandes áreas, além da conjunção de mais um tipo de lago. O principal objetivo desses tipos de lagoa é a degradação de matéria orgânica, com possível remoção de microrganismos patogênicos (Figura 5).

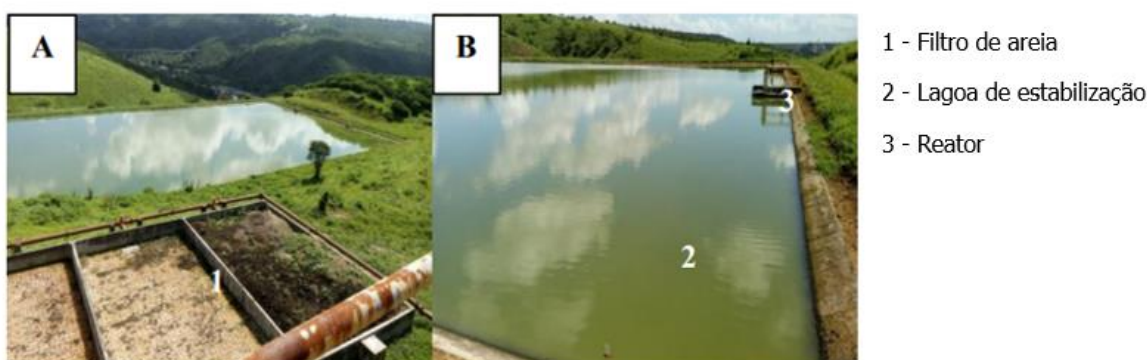


Figura 5. Visão geral da estação de tratamento de efluente com visão dos sistemas de decantação (A) e lagoa de estabilização (B) da Estação de Tratamento de Esgotos do município de Muritiba - BA (SOUZA, 2018).

Os reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB) têm sido utilizados em diversas estações de tratamentos de esgotos domésticos (ETE). Salgado *et al.* (2018) testou na cultura da melancia o efluente de uma miniestação de tratamento de esgoto da cidade de Petrolândia que atende uma população de 1.567 habitantes foi composto por tratamento preliminar (caixa de areia), reator anaeróbico UASB de 50 m³ e tanque de equalização de 12 m³. O reator UASB foi alimentado com vazão e tempo de detenção hidráulica médios de 1,83 L s⁻¹ e 6 horas, respectivamente. O efluente gerado por esse sistema de tratamento apresentou características dentro da legislação para utilização na agricultura, porém a quantidade de materiais em suspensão demandou maior limpeza do sistema de irrigação localizada por gotejamento. Segundo Paiva *et al.* (2020) apesar desse tratamento ser eficiente na remoção de matéria orgânica biodegradável e de sólidos suspensos totais não gera efluentes que atendem as normas ambientais atuais, necessitando de outras técnicas de tratamentos.

Um modelo de tratamento de esgoto doméstico e reúso foi proposto por Mayer *et al.* (2021) para aumentar a disponibilidade hídrica de uma propriedade agrícola para atender uma família com cinco pessoas (Figura 6). Esse sistema era composto de caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento. O sistema aumentou em 40 m³ ano⁻¹ a disponibilidade hídrica dessa família para uso na agricultura, com redução de gastos com adubação mineral e água.

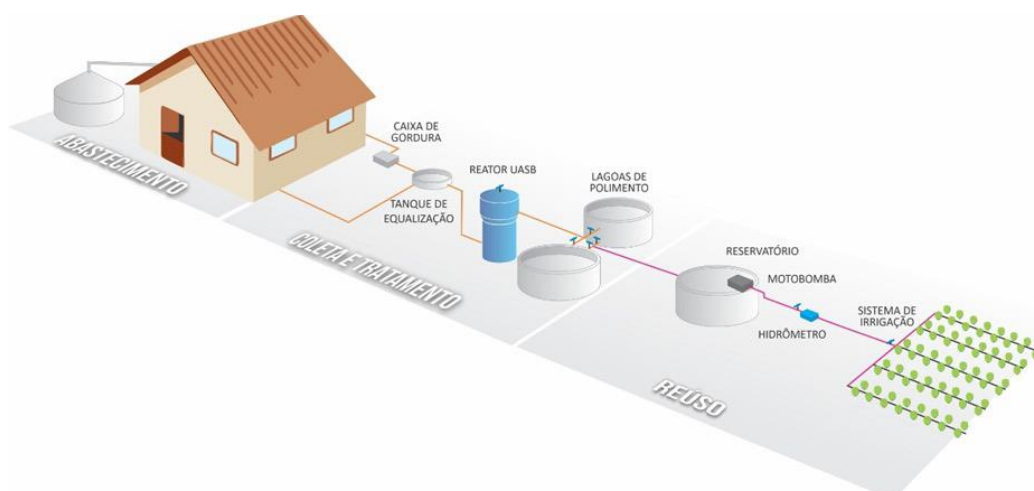


Figura 6. Layout do sistema de tratamento de esgoto rural e de reúso agrícola (MAYER, *et al.*, 2021).

13.5 Aplicação de efluentes com potencial fertilizante

Diversos estudos têm utilizado a água de efluente doméstico como fonte de água em substituição a água potável na irrigação ou como fonte de nutrientes, reduzindo consideravelmente a quantidade de fertilizantes adquiridas para o cultivo das plantas (SHAER-BARBOSA *et al.*, 2014). O que se sabe é que após o processo de tratamento, estas águas apresentam um grande potencial de uso em ambientes agrícola, devido a uma grande quantidade de nutrientes como carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, elementos estes indispensáveis para o desenvolvimento das culturas (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Em trabalhos realizados por Rebouças *et al.* (2010), foram reportados aumentos de cerca de 154 e 49% (área foliar), 79 e 68% (número de folhas) de plantas de feijão-caupí com o uso de 75% de água residuária em comparação aos tratamentos uso de água de abastecimento sem e com adubação mineral, respectivamente (Figura 7), indicando seu uso como alternativa tanto como fonte de água como fonte de nutrientes.

No que diz respeito ao aporte nutricional, em plantas de arroz vermelho irrigada com água residuária doméstica, Brito *et al.* (2014) verificaram um aumento significativo na concentração de todos os nutrientes avaliados com o aumento da concentração de água residuária aplicada (Figura 8). Estes resultados mostram que as plantas absorvem grandes quantidade de nutrientes oriundos das águas residuárias.

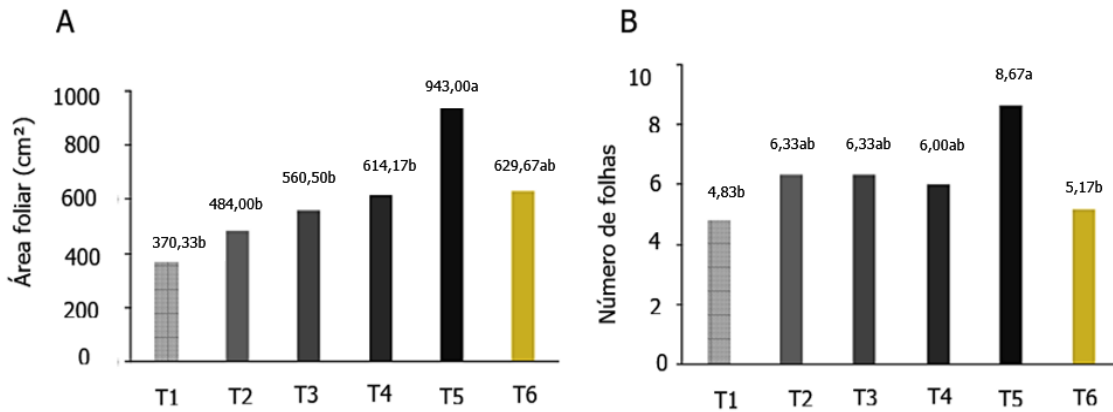


Figura 7. Comparação de médias de área foliar (A) e número de folhas (B) do feijão-caupi com aplicação de água residuária e água de abastecimento com e sem adubação mineral do solo. Tratamentos: Água de abastecimento (T1), água residuária diluída em água de abastecimento na concentração de 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4), 100% (T5) e água de abastecimento + adubação mineral do solo (T6) (REBOUÇAS, *et al.*, 2010).

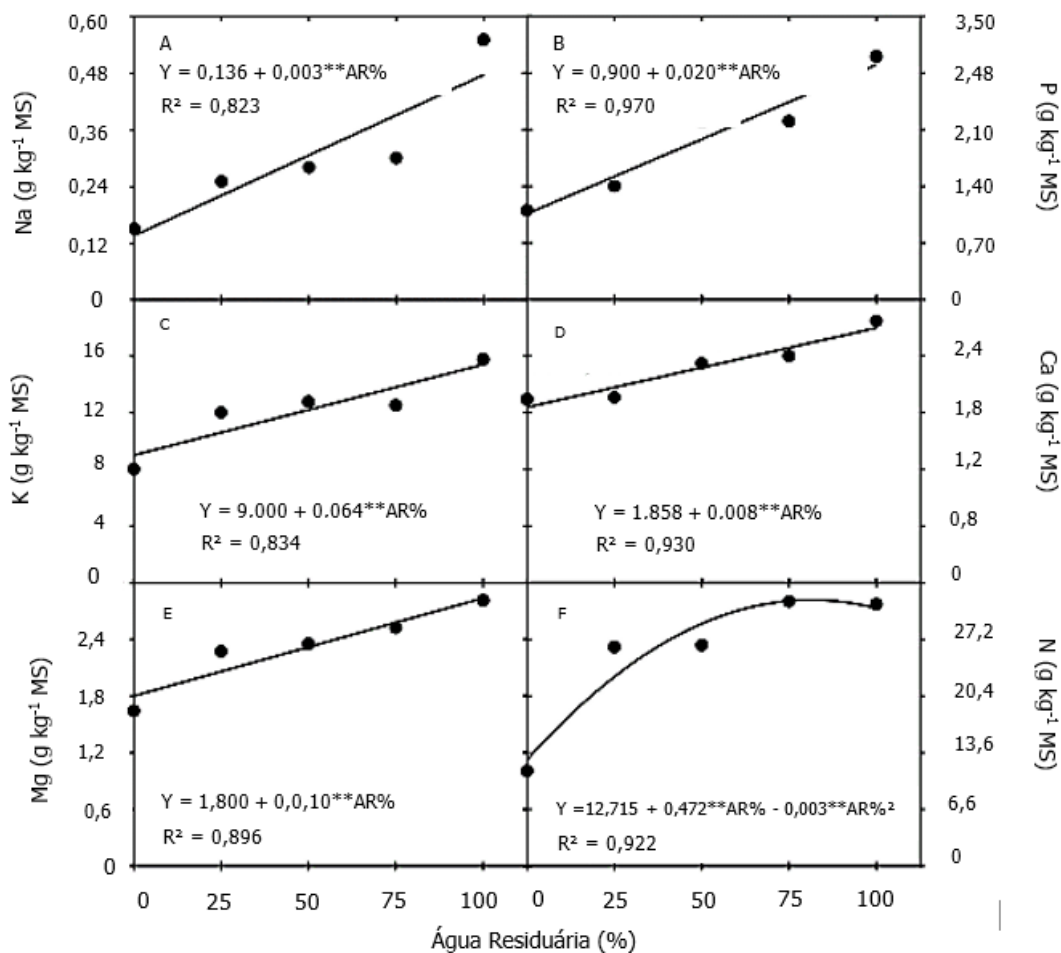
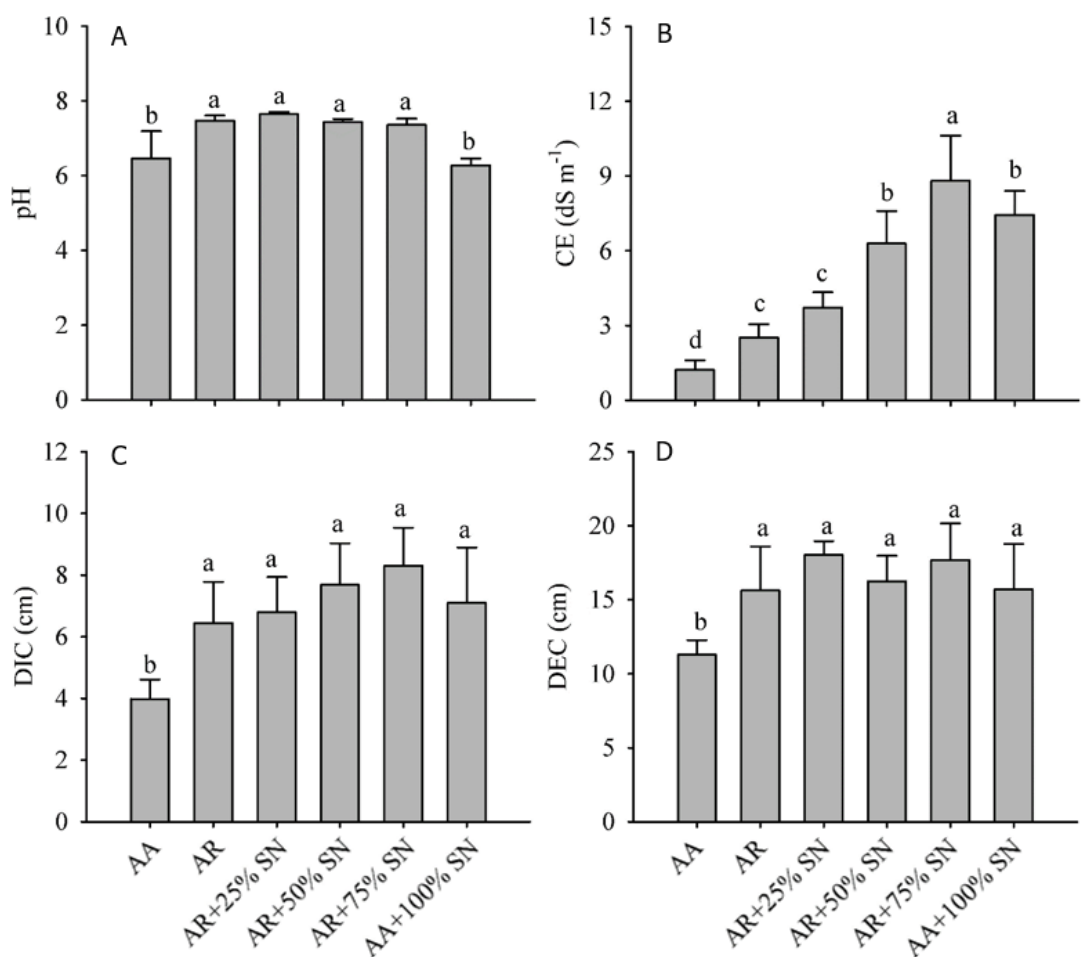


Figura 8. Teores de sódio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e nitrogênio (F) em plantas de arroz em função do acréscimo de água residuária na lâmina de irrigação. (BRITO, *et al.*, 2014).

Ao avaliar a qualidade dos frutos de mamoeiro irrigado com esgoto doméstico tratado, oriundo de uma comunidade com 107 habitantes, Batista *et al.* (2017) verificaram que com o uso do efluente tratado em um decanto-digestor (tanque séptico mais dois filtros anaeróbios) não provocou alterações significativas nas variáveis relacionadas a qualidade dos frutos. Indicando que o uso do efluente doméstico tratado, quando manejado adequadamente não prejudica a qualidade dos frutos.

A utilização de efluente de esgoto doméstico no cultivo de girassol 'Anão de Jardim', Cova *et al.* (2021) reportaram aumentos nos valores de pH e a condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (Latosolo Amarelo Distrocoeso típico) em 16,5 e 106,32%, respectivamente, quando comparado as plantas apenas irrigadas com água de abastecimento, aumentando a salinidade do extrato de saturação do solo (CEes > 4,0 dS m⁻¹) com adição de solução nutritiva acima de 25% (Figura 9A e 9B). Por outro lado, algumas variáveis relacionadas com a qualidade morfológica da flor do girassol (diâmetro interno e externo do girassol) não difeririam entre si (Figura 9C e 9D).



Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 0,05 de significância.

Figura 9. Potencial hidrogeniônico - pH do solo (A) e condutividade elétrica - CE no extrato de saturação do solo (B), diâmetro interno do capítulo - DIC (C), diâmetro externo do capítulo - DEC (D) de plantas de girassol 'Anão de Jardim'. AA - água de abastecimento, AR - água residuária e solução nutritiva - SN (COVA, *et al.* 2021).

Para minimizar os impactos ambientais causados pelo uso da água residuária tratada na agricultura, o desenvolvimento e o aprimoramento de novas técnicas são requeridos

(SANTOS *et al.*, 2006). Dessa maneira, o cultivo hidropônico vem sendo usada como uma alternativa para aproveitamento dos efluentes na produção agrícola, reduzindo o descarte dos efluentes nos cursos d'água, mantendo a ciclagem dos nutrientes que não foram totalmente eliminados no processo de tratamento utilizado (CUBA *et al.*, 2015). Keller *et al.* (2005), destacam que o reúso de águas de efluentes em cultivos hidropônicos representa uma escolha de produção que pode ser adaptada à demanda de qualidade, aumento da produção e aproveitamento de água e nutrientes.

Em estudos com diferentes genótipos de manjeriço, Alves (2017) afirmou que o uso de água residuária tratada foi adequado para produção do manjeriço sem prejuízos ao teor, rendimento e composição química do óleo essencial (Figura 10).

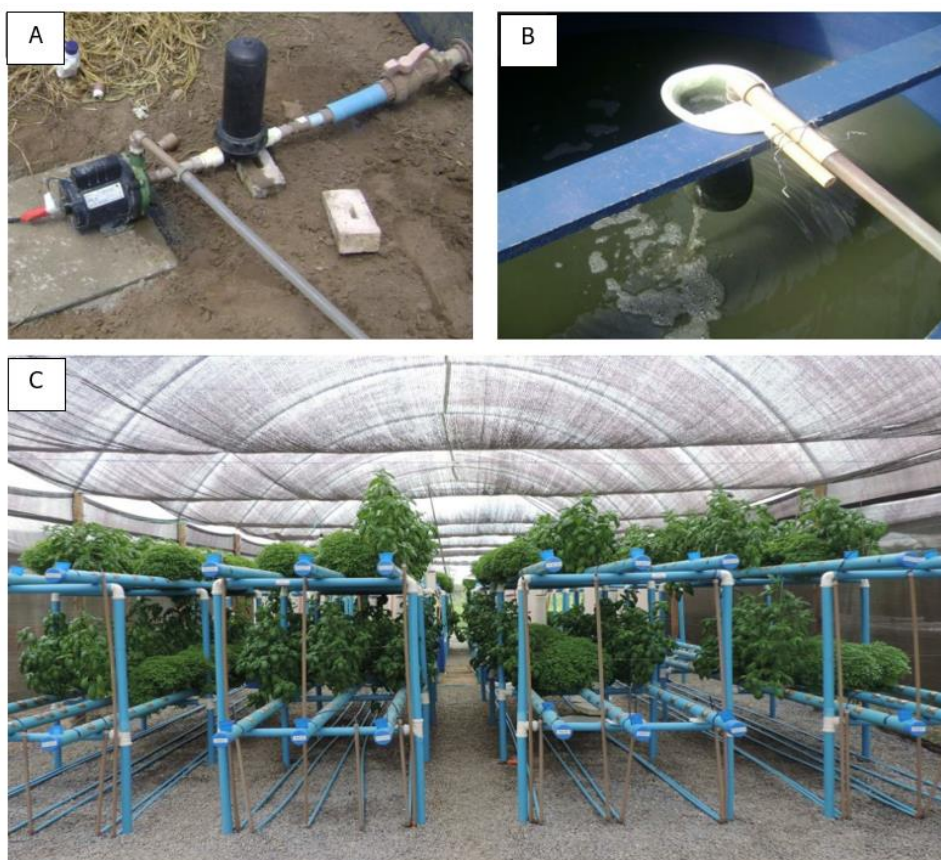


Figura 10. Filtro de tela (A), filtro de malha artesanal (B) e visão geral do experimento (C) utilizando efluente doméstico tratado em genótipos de manjeriço em sistema hidropônico (ALVES, 2017).

13.6 Considerações Finais

O reúso de efluentes domésticos tratados na agricultura é uma alternativa eficaz para garantia da manutenção do abastecimento de água para consumo humano. Diversos estudos reportaram que o reúso de água de efluentes domésticos tratados podem aumentar a produção de culturas sem afetar a sua qualidade. Entretanto, ainda é de suma importância desenvolver mais orientações sobre a saúde, avaliação de risco ambiental e o estabelecimento de uma estrutura de gerenciamento de risco em geral, avaliando seus efeitos acumulativos a longo prazo.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aosas.2018.11.004>>. Acesso em: 15 abr. 2022
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil**. Ed. Especial Rio+20, Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, ANA, p.52-70, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. 1ed. Brasília, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ANA, 75p., 2019.
- ALVES, L.S. **Utilização de efluente doméstico tratado no cultivo de manjerição em sistemas hidropônicos**. 108f., 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017. Disponível em: <https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/LUCYLIA_SUZART_ALVES.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O.N.; DIAS, N. da S.; NASCIMENTO, I.B.do; MEDEIROS, J.F.; COSME, C.R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, v.18, p.661-674, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p661.
- ANDRÉS, R.; MARTÍN-RAMOS, P.; CUCHÍ, J.A. Water balance and nitrate and salt exports from a saline-sodic irrigation district in Castelflorite (Huesca, NE Spain). **Agronomy**, v.10, 165, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10020165
- ARAÚJO, B.A.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V.L.A.; SANTOS J.S. Uso de esgoto doméstico tratado na produção de mudas de espécies florestais da caatinga. **Principia**, v.15, p.48-53, 2007.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2ed. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29. Campina Grande: UFPB, 218p., 1999.
- BARROS, J.C.S.M.; RÊGO FILHO, L.M.; CELESTINO, R.C.A. PROHMANN, L.L. Águas de reúso para irrigação de pomar de lima ácida 'Tahiti' (citrus latifolia Tanaka). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, p.1224-1239, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-041
- BATISTA, A.A.; DUTRA, I.; CARMO, F.F.; IZIDIO, N.S.C.; BATISTA, R.O. Qualidade dos frutos de mamoeiro produzidos com esgoto doméstico tratado. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, p.70-80, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170008
- BEDBABIS, S.; BEN ROUINA, B.; BOUKHRIS, M.; FERRARA, G. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, v.133, p.45-50, 2014. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.11.007
- BORETTI, A.; ROSA, L. Reassessing the projections of the world water development report. **NJP Clean Water**, v.2, 2019. DOI:10.1038/s41545-019-0039-9
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; ELGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 332p., 2005.
- BRITO, A.A.F.; FERREIRA NETO, M.; MIRANDA, N.O.; LEAL, C.C.P.; LIRA, J.F.B. Teores de nutrientes em plantas de arroz vermelho irrigado com água residuária doméstica. **Irriga**, Edição Especial 01, p.1-10, 2014.
- CARVALHO, D.F.; MARTINS, R.C.F.; SANTOS, J.J.S.; TELES, G.C.; GENTILE, M.A.D.; OLIVEIRA, M.S. Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: Systematic data analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.505-511, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n8p505-511.
- CARVALHO, R.S.C.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. **Agricultural Water Management**, v.203, p.311-321, 2018. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.03.028

- CASTRO, E.; MAÑAS, P.; DE LAS HERAS, J. Effects of wastewater irrigation in soil properties and horticultural crop (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v.36, p.1659-1677, 2013. DOI: 10.1080/01904167.2013.805221
- CHEN, Z.; NGO, H.H.; GUO, W. A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. **Science of the Total Environment**, v.426, p.13-31, 2012. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.055
- COVA, A.M.W.; SANTOS, A.L.; SOUZA, M.G.; SILVA, L.L.; AZEVEDO NETO, A.D.; GHEYI, H.R. Água residuária como fonte de recurso hídrico e nutrientes no cultivo de girassol ornamental. **Revista Geama**, v.7, p.61-66, 2021.
- CUBA, R.S.; CARMO, J.R.; SOUZA, C.F.; BASTOS, R.G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Revista Ambiente & Água**, v.10, p.574-586, 2015.
- DALTRO FILHO, J. **Saneamento ambiental: doença, saúde e o saneamento da água**. São Cristóvão: Editora UFS; Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 332p., 2004.
- DANTAS, D.C.; SILVA, E.F.F.; DANTAS, M.S.M.; SILVA, G.F.; SANTOS, A.N.; ROLIM, M.M. Cultivation of sunflower irrigated with domestic sewage treated in Quartzarenic Neosol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i2a5520
- DERRY, C.; MAHESHWARI, B. Wastewater treatment by a modular, domestic scale reedbed system for safe horticultural irrigation. **Science of Total Environment**, v.537, p.243-249, 2015. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.010
- FREITAS, C.A.S.; NASCIMENTO, J.A.M.; BEZERRA, M.L.; LIMA, R.M.M. Use of treated sewage as water and nutritional source for bean crops. **Revista Caatinga**, v.31, p.487-494, 2018.
- GLOAGUEN, T.V.; FORTI, M.C.; LUCAS, Y.; MONTES, C.R.; GONÇALVES, R.A.B.; HERPIN, U.; MELFI, A.J. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v.88, p.119-131, 2007. DOI:10.1016/j.agwat.2006.10.018
- HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, p.75-95, 2002. DOI: 10.21168/rbrh.v7n4.p75-95
- JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. **Water Reuse: An International survey of current practice**. London: IWA Publishing, 648p., 2008.
- KELLER, R.; PERIN, K.; SEMIONATO, S.; ZANDONADE, E.; CASSINI, S.; GONÇALVES R.F. Hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*) using effluents from primary, secondary and tertiary + UV treatments. **Water Science and Technology: Water Supply**, v.5, p.95-100, 2005. DOI: 10.2166/ws.2005.0012
- KHALEGHI, M.; HASSANPOUR, F.; KARANDISH, F.; SHAHNAZARI, A. Integrating partial root-zone drying and saline water irrigation to sustain sunflower production in freshwater-scarce regions. **Agricultural Water Management**, v.234, 106094, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106094
- MAYER, M.C; MEDEIROS, S.S.; BATISTA, M.M.; BARBOSA, R.A.; LAMBAIS, G.R.; SANTOS, S.L.; HAANDEL, A. Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro. **Revista DAE**, v.69, p.104-114, 2021. DOI: 10.36659/dae.2021.023
- McMICHAEL, A.J.; LINDGREN, E. Climate change: present and future risks to health, and necessary responses. **Journal of Internal Medicine**, v.270, p.401-413, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2796.2011.02415.x
- MIRANDA, M.A.; OLIVEIRA, E.E.M.; SANTOS, K.C.F.; FREIRE, M.B.G.S.; ALMEIDA, B.G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.484-490, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000500008
- MKHWANAZI, M.M.; VILANE, M. Effects of irrigating with kitchen wastewater on growth and development of lettuce. **International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch**, v.3, p.309-316, 2018.

- OFORI, S.; PUŠKÁČOVÁ, A.; RŮŽIČKOVÁ, I.; WANNER, J. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. **Science of the Total Environment**, v.760, p.1-15, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144026
- OLIVEIRA, P.C.P.; GLOAGUEN, T.V.; SANTOS, D.L.; GONÇALVES, R.A.B. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.861-867, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000800010
- OTENIO, M.H. Reaproveitamento de água residuária em sistemas de produção de leite. In: MARTINS, P. do C.; PICCININI, G.A.; KRUG, E.E.B.; MARTINS, C.E.; LOPES, F.C.F. **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite: desafios e perspectivas**. Brasília: Embrapa, p. 139-159, 2015.
- PAIVA, L.A.L.; VAN HAANDEL, A.C.; MOTA, L.S. Lodo ativado em bateladas sequenciais como opção de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, p.259-269, 2020. DOI: 10.1590/S1413-41522020159463
- PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químico**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 285p., 2005.
- PLETSCH, T.A. **Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado**. 71f., 2012. 71f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.
- REBOUÇAS, J. F. L.; DIAS, N. S.; GONZAGA, M. I. S.; GHEYI, H. R.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v.23, p.97-102, 2010.
- REGO, J.L.; OLIVEIRA, E.L.L.; CHAVES, A.F.; ARAÚJO, A.P.B.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, A.B.; MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 (suplemento), p.155-159, 2005. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp155-159
- REZNIK, A.; FEINERMAN, E.; FINKELSHTAIN, I.; FISHER, F.; HUBER-LEE, A.; JOYCE, B.; KAN, I. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: a statewide long-term perspective. **Ecological Economics**, v.135, p.222-233, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.01.013
- SALGADO, V.C.; SOUZA FILHO, E.J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T. Cultivo de melancia no semiárido irrigado com diferentes lâminas de esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, p.727-738, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018161706.
- SANDRI, D.; ROSA, R.R.B. Atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado, fertirrigação convencional e água de poço. **Irriga**. v.22, p.18-33, 2017. DOI: 10.15809/irriga.2017v22n1p18-33.
- SANTOS, S.S.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C.; BATISTA, R.O.; MELO, J.C. Contaminação microbiológica do solo e dos frutos de cafeeiros fertirrigados com esgoto sanitário. **Engenharia na Agricultura**, v.14, p.16-22, 2006.
- SHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M.E.P.; MEDEIROS, Y.D.P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v.17, p.17-32, 2014. DOI: 10.1590/S1414-753X2014000200003.
- SHARMA, S.K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries. **Water and Environment Journal**, v.23, p.210-218, 2009. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2008.00134.x.
- SILVA, J.G.D.; CARVALHO, J.J.; LUZ, J.M.R.; SILVA, J.E.C. Fertigation with domestic wastewater: uses and implications. **African Journal of Biotechnology**, v.15, p.806-815, 2016. DOI: 10.5897/AJB2015.15115.
- SOUZA, R.N. **Efluente doméstico tratado como fonte complementar de nutrientes no cultivo de girassol ornamental em sistema hidropônico**. 85f., 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2018. Disponível

em: <https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/ROGERIO_NOVAES_DE_SOUZA.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p., 2005.

WADA, Y.; BIERKENS, M.F.P. Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections. **Environmental Research Letters**, v.9, 104003, 2014. DOI: 10.1088/1748-9326/9/10/104003

WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S.; SALGOT, M.; COLLADO, J.; HÉRNANDEZ, F.; TORRICELLI, R. **Reutilización del agua en agricultura: Beneficios para todos**. Rome: FAO, 124p., 2013.

ZAIDAN, L.E.M.C. **Produção de biodiesel a partir da mamona e pinhão manso fertirrigados com efluentes sanitários tratados do município de Ibimirim - PE e Pesqueira - PE**. 102f.,2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6226>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CAPÍTULO 14

14. GESTÃO DE ÁGUA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAI

Marcos Vinícius Folegatti e Claudia Moster

Resumo

Emblemática tem sido a atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá- CBH-PCJ, na Gestão de Águas, tendo em vista o nível crítico de disponibilidade, e os conflitos entre os diferentes usuários (indústria, abastecimento e agricultura), com amplo debate e participação observa-se ajustes das leis estaduais, compatibilizando com a Lei Federal 9433/97, de forma a atender os usos múltiplos da água.

14.1 Introdução

A gestão das águas em bacias hidrográficas é um tema recorrente e torna-se mais desafiadora ao longo das décadas, devido ao aumento do consumo e à redução da qualidade dos recursos hídricos. A urbanização e o crescimento das áreas industrializadas, bem como a intensificação da agricultura e a criação de animais, aumentam a demanda hídrica, resultando em conflitos de interesses entre os usuários. Assim, sistemas de gestão hídrica, políticas e instrumentos de gestão são aplicados e, normalmente, atualizados periodicamente, a fim de garantir a máxima eficiência.

Normalmente, em áreas agrícolas irrigadas, cujo consumo corresponde a cerca de 70% da demanda total, ocorre maior infiltração de água no solo, quando comparado às áreas impermeáveis urbanas. Porém, o uso do solo interfere diretamente nos recursos hídricos, podendo resultar em alterações positivas ou negativas nos parâmetros de qualidade e no balanço hídrico anual de uma bacia hidrográfica. Na maioria dos sistemas de abastecimento urbano, a disponibilidade de água e o custo do tratamento para consumo, dependem do provimento desse recurso oriundo das áreas rurais. Dessa forma, considera-se uma relação entre provedores, os proprietários rurais que aplicam práticas agrícolas que favorecem a produção de água na bacia, e os beneficiários, população urbana abastecida pelo sistema de captação e tratamento, dos serviços ecossistêmicos hídricos.

Em todo o mundo, pode-se observar diferentes soluções utilizadas para o abastecimento das grandes cidades. No caso da região metropolitana de São Paulo, baseia-se em obras hidráulicas de armazenamento e transferência de água, das regiões de cabeceira de drenagem e de outras bacias, incluindo o uso múltiplo de represas, para geração de energia elétrica e abastecimento público. O Sistema Cantareira, como é denominado o conjunto hidráulico de estruturas que garantem a transferência da vazão de até $31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ das bacias Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) para a cidade de São Paulo, é um exemplo expressivo da complexidade que ocorre na gestão da água de grandes centros. A disponibilidade hídrica natural, devido às condições climáticas e densidade demográfica na bacia do Alto Tietê, não garante o volume necessário para o abastecimento da cidade e região. Dessa forma, a transferência de água a partir das bacias PCJ é de suma importância para manter a economia da região e do país. No entanto, observa-se que ao longo dos anos, os eventos extremos climáticos afetam todo o sistema de captação e abastecimento. Nas últimas décadas, ocorreram situações de crise tanto em épocas de enchentes quanto de estiagens, o que demonstra a fragilidade do controle de vazão em relação ao armazenamento de água, para períodos críticos ou condições severas extraordinárias.

A gestão da água do Cantareira é um modelo de aplicação de políticas, instrumentos, teorias e práticas. Desde sua concepção, o objetivo principal foi garantir o abastecimento de água para a região metropolitana paulista. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/97) instituiu um modelo de gestão hídrica no Brasil baseado em instrumentos que consideram conceitos técnicos (gestão por bacias, vazão mínima, enquadramento, outorga) e políticos (cobrança pelo uso da água, definição de usos preponderantes, participação social na gestão por meio dos comitês gestores e agências de bacias), incluindo os mecanismos de compensação e pagamento por serviços ambientais. A evolução das leis ambientais brasileiras, o aumento da participação social na gestão hídrica, o desenvolvimento econômico nas bacias PCJ e o conceito de valoração dos serviços ambientais, contribuiram para um cenário de tomada de decisão que busca conciliar os interesses dos envolvidos, denominado gestão compartilhada das águas.

Em busca da sustentabilidade no manejo dos recursos hídricos, a gestão de bacias deve considerar os aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos, no contexto da legislação aplicada. Por sua vez, a Lei Federal 12.651/2012, que substituiu o Código Florestal Brasileiro de 1965, e restringe parcialmente o uso do solo em propriedades rurais, é insuficiente para promover a regularização do deflúvio (quantidade e qualidade). Entende-se que, as bacias hidrográficas que apresentam uso múltiplo das águas, como abastecimento de água, produção agrícola e turismo, devem considerar um instrumento econômico de gestão hídrica que estimule e incentive ações que resultem em menores custos de tratamento de água e na regularização de vazão.

No contexto acima, é possível que as áreas agrícolas possam contribuir com a função ecossistêmica hidrológica, por meio de práticas de uso do solo e de composição de sistemas de manejo que propiciem menor escoamento superficial e maiores taxas de infiltração nas bacias hidrográficas. Há que se considerar, também, o consumo de água do sistema pelo processo de evapotranspiração, que depende não só da cobertura vegetal, mas do manejo aplicado às diferentes culturas.

14.2 A água como capital natural no contexto econômico de bacias hidrográficas

O crescimento econômico apresenta limites representados pela oferta e demanda de recursos, e a análise do estado atual e futuro determina a taxa de desenvolvimento possível. O crescimento populacional e a geração de tecnologia são fatores de impacto nessa análise, pois a disponibilidade de recursos naturais pode ser alterada diretamente por essas variáveis, como, por exemplo, o desenvolvimento de novas tecnologias na medicina, na produção de alimentos e para a exploração de petróleo nas últimas décadas, o que resultou em maior expectativa no tempo de vida humana, produção agrícola em larga escala e a possibilidade de identificação e exploração de novos estoques petrolíferos. A taxa de crescimento econômico mundial, identificada por meio do produto interno bruto (PIB), apresenta elevação de 3 a 4% ao ano e a estimativa é que seja o dobro no período de 15 a 20 anos. Paralelamente ao crescimento do PIB, ocorre o aumento no consumo de recursos. Embora seja o índice econômico mais utilizado para avaliação da riqueza, não considera o capital natural (produtos do setor primário da produção) e é inadequado para uma análise do crescimento econômico sustentável. Na visão econômica, aquilo que não é mensurado, dificilmente é valorado pela sociedade (VICTOR, 2007; RIVAL; MURADIAN, 2013; HELM, 2015).

Helm (2015) afirma que a regulação de preços pelo mercado apresenta-se como um método para direcionar o consumo e o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis. Ao considerar a definição de desenvolvimento sustentável, a disponibilidade de recursos naturais deve ser mantida, para que seja possível às futuras gerações as mesmas condições da população atual. Portanto, um mecanismo econômico para a valoração do capital natural torna-se imprescindível para garantir a conservação de recursos naturais para as próximas

gerações. No entanto, o autor considera necessário um manejo racional desses recursos, a fim de promover a conservação das funções ecossistêmicas ou de reabilitar as condições para que ocorram os processos naturais, havendo, desse modo, a perpetuidade do capital natural. Em algumas situações, o limite de resiliência natural já foi atingido e, sem a intervenção humana, a capacidade de produção do capital natural estará comprometida.

O desafio para a conservação de ecossistemas encontra-se na atribuição de valor para os recursos naturais renováveis, uma vez que a alteração dos ambientes pode resultar em diminuição da capacidade do provimento natural, resultando em impactos negativos no bem-estar humano ou na capacidade de renovação do capital natural. Os estoques naturais, bem como a capacidade de renovação natural, apresentam relação direta com o estado de conservação das funções ecossistêmicas e sua dimensão na paisagem. Uma vez reduzida, um recurso pode tornar-se naturalmente não renovável, devido às consequências negativas do uso direto ou indireto, e os custos para a restauração aumentam com sua escassez. Dessa forma, a compensação pelos prejuízos causados aos ecossistemas é a regra central do capital natural agregado (que inclui os renováveis e os não renováveis), direcionada pela correta quantificação, mensuração e valoração econômica, para o estabelecimento de políticas de conservação. Assim como em diversas áreas há estruturas ou cadeias de produção, para a provisão do capital natural aplica-se o mesmo conceito de planejamento, em que a provisão dos bens e serviços é resultado de uma sequência organizada de atividades (BÖRNER; VOSTI, 2013; HELM, 2015).

A ciência econômica apresenta o conceito da "disponibilidade em pagar", em que o valor final está diretamente relacionado à valoração do consumidor, o que pode ser distinto de acordo com a percepção pessoal e social do indivíduo. Também ocorre a valoração por meio dos custos para a compensação, como é o caso do tratamento de água ou restauração florestal de ecossistemas. No entanto, o princípio da sustentabilidade é a manutenção da produção desses serviços e, portanto, a compensação deve ser evitada quando se trata de manejo da paisagem visando a perpetuidade do capital natural (HELM, 2015).

Outra questão apresentada sobre as dificuldades práticas da compensação de perdas de capital natural, é o direito público e privado, muitas vezes o fator que dificulta estabelecer medidas efetivas para os danos causados. O comum a todos, normalmente, é responsabilidade do governo, mas o uso dos recursos naturais dentro de uma propriedade privada, desde que as atividades sejam condizentes com a legislação em vigor, é um direito privado. As adversidades causadas por uma atividade econômica podem interferir no futuro bem-estar de todos no globo terrestre, dependendo do espaço temporal considerado. Os casos de compensação ambiental de responsabilidade privada são exemplos de medidas com alto custo e longo prazo para cumprimento, o que nem sempre é fiscalizado ou considera as necessidades de todos os envolvidos nos danos (BÖRNER; VOSTI, 2013; HELM, 2015).

Um dos instrumentos para a conservação do capital natural são os mecanismos de controle por meio de leis ou políticas públicas. O pagamento por serviços ecossistêmicos (PSE), como um dos mecanismos econômicos de incentivo aos atores envolvidos na provisão de serviços, tem sido aplicado no contexto de valoração do capital natural, sendo a Costa Rica um país pioneiro (BÖRNER; VOSTI, 2013). Pode ser estabelecido como uma transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido (ou o uso da terra que assegure o serviço prestado) é adquirido por, pelo menos, um beneficiário de, no mínimo, um provedor, considerando o critério de condicionalidade para a provisão dos serviços. O comprador pode ser o beneficiário direto ou uma instituição pública ou não governamental, mas o contexto da aplicação do pagamento deve ser resultado de uma interação social, política, econômica e ambiental, visando atingir objetivos como redução da pobreza (PAGIOLA *et al.*, 2005; LE-COQ *et al.*, 2011), desenvolvimento ou aumento da governança. É comum a aplicação desse instrumento no contexto de propriedades agrícolas, por meio de subsídios de compensação

ambiental, incentivos econômicos e regulamentos, com o propósito de melhorar a provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos (MADRIGAL-BALLESTERO, 2011; BÖRNER; VOSTI, 2013; HELM, 2015), e pode induzir mudanças no uso do solo das áreas rurais em que há poucos recursos ou um mercado motivador (JARDIM; BURSZTYN, 2015). Esse mecanismo é associado a uma classe de uso da terra (US\$.ha⁻¹) ou custo de oportunidade, com investimentos específicos para identificar fundos de recursos para o desenvolvimento de um novo mercado, com beneficiários intermediários. A permanência dos recursos é estabelecida por contrato e os valores a pagar, bem como os critérios para valoração, são negociados entre os envolvidos, apresentando maior eficiência do que os mecanismos de comando-controle (LE-COQ *et al.*, 2011). Para Rapidel *et al.* (2011), é uma forma eficiente de conscientização sobre o valor dos serviços ecossistêmicos.

A ineficiência desses programas, por sua vez, pode estar relacionada ao oferecimento de incentivos inferiores aos custos de adoção de práticas diferenciadas de manejo, indução de práticas alternativas com custo superior ao valor dos serviços, pagamento por adoção de práticas que, de qualquer forma, seriam realizadas (ENGEL *et al.*, 2008; MADRIGAL-BALLESTERO, 2011) e a permanência do pagamento a longo prazo para manutenção das atividades implementadas (ZHENG *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2017). O estímulo a esse mecanismo deve ser o da demanda pelos serviços ecossistêmicos à jusante, e a continuidade depende do compartilhamento de ideais políticos locais e, por isso, a importância de um arcabouço institucional para viabilizar os programas e a participação de ONGs, governos locais e órgãos gestores (YOUNG; BAKKER, 2014; JARDIM; BURSZTYN, 2015). Ademais, proprietários rurais de diferentes rendas devem ser engajados em um programa de compensação ambiental, com um incentivo diferente do pagamento para atrair os proprietários que não encontram interesse nesse mecanismo (PRINS; LEÓN, 2011).

No meio corporativo, a valoração de ativos naturais ocorre de forma a contribuir com a imagem da empresa e com o patrimônio que possuem, além da internalização das externalidades positivas e negativas (HELM, 2015). Parcerias ou alianças internacionais, entre instituições bancárias, ONGs, empresas privadas e instituições públicas também são iniciativas que contribuem para situações de valoração e aplicação monetária para a conservação de serviços ecossistêmicos globais, mas com uma preocupação sobre o grau de imparcialidade na governança e na transformação do capital natural em commodities. De forma geral, as parcerias, quando bem conduzidas, podem promover uma política inovadora, o engajamento de novos atores nas decisões e um financiamento eficiente para a conservação ambiental global (MADRIGAL-BALLESTERO, 2011; KRAMARZ, 2013).

O Fundo da Água é um exemplo de parceria institucional com adesão voluntária que envolve ONGs, instituições públicas e privadas e universidades para tomada de decisão em relação aos investimentos financeiros em uma bacia de importância socioeconômica-ambiental. É um fundo sustentável de recursos para conservação e proteção de ecossistemas naturais para a provisão e a valoração de serviços ecossistêmicos, enquanto mantém ou melhora as condições de vida humana na bacia (GOLDMAN *et al.*, 2010). O primeiro projeto implantado no ano 2000 foi em Quito, Equador, que beneficiou cerca de 4 milhões de pessoas. As ações envolveram investimentos em infraestrutura natural (proteção e restauração da vegetação natural) como parte da solução dos problemas enfrentados na bacia Guayaquil, sob uso múltiplo e forte pressão antrópica, por apresentar o centro industrial e comercial. Nesse caso, os modelos espaciais e as simulações de cenários foram utilizadas para compreender e avaliar os resultados da relação entre a infraestrutura natural e o manejo integrado da bacia, visando a aplicação de investimentos. Cerca de 83% do fundo foi aplicado em restauração florestal, localizados em pontos de interesse para as mudanças no cenário de serviços ecossistêmicos, mas representando uma pequena porcentagem da área da bacia, com o objetivo de privilegiar os beneficiários (MULLIGAN, *et al.*, 2015).

Em 2013, foi formada a Rede do Fundo da Água na América Latina, e 16 projetos foram analisados por Bremer *et al.* (2016). O estudo demonstrou a percepção dos envolvidos nos projetos, identificando como objetivos: a produção de água (principalmente em relação à segurança hídrica durante a estação de baixa vazão), a qualidade da água (com maior destaque para a produção de sedimentos), a proteção e a restauração de ecossistemas e os aspectos sociais de governança e educação. Os cinco projetos localizados no Brasil (São Paulo, Guandu, Camboriú, FUNDAGUA e Piripau) utilizam como mecanismo de compensação o pagamento pelas atividades relacionadas à restauração florestal nas propriedades e a implantação de outras atividades do projeto. Nesses casos, de 12 a 459 proprietários eram beneficiados e entre 38 e 492 ha de áreas destinadas às atividades de restauração, atingindo o investimento de 21,5 milhões de dólares oriundos do FUNDAGUA. Na maioria, o montante mais significativo origina-se de recursos governamentais, por meio de leis que direcionam taxas de empresas privadas para o financiamento dos projetos. Há possibilidade de investimentos em implantação de agroflorestas como ocorre em Cauca Valley, na Colômbia, mas no Brasil as atividades dedicam-se à proteção de florestas, restauração ou conservação do solo. Diferentes mecanismos de evidência são utilizados, como as ferramentas InVEST *Model*, SWAT, análises multicriteriais, a equação universal de perda de sedimentos e erosão modificada (MUSLE) e o modelo conceitual de atores, recursos e atividades (ARA). Embora a maioria apresente o monitoramento de vazão, o estabelecimento de uma linha base para avaliação dos resultados no aumento dos serviços ecossistêmicos hidrológicos, é uma das dificuldades citadas, devido à restrição de um banco de dados anterior à implantação dos projetos. No entanto, o engajamento para participação dos atores locais, bem como a criação de uma rede de prestadores de serviços ao redor dos projetos, são benefícios sociais não quantitativos, mas de efeito expressivo para o desenvolvimento dos projetos de restauração. A pequena participação do setor privado foi avaliada como negativo, de modo a melhorar a participação na arrecadação dos fundos.

Tafarello *et al.* (2017), ao analisarem 16 programas de PSE localizados no bioma Mata Atlântica no Brasil, com diferentes características e abrangências, também evidenciaram a falta de estratégias de monitoramento ec hidrológico para longo prazo e a definição de linha-base, de forma integrada, para comparação dos projetos. Em nenhuma dessas iniciativas o pagamento apresentava ligação com critérios quantitativos sobre a produção de serviços ecossistêmicos. Ferraz *et al.* (2014) discutiram a aplicação de investimentos, considerando o histórico e o contexto de remanescentes florestais na paisagem, como características importantes para serem consideradas na avaliação do provimento de serviços hidrológicos. Assim, pode-se afirmar que a valoração da água como capital natural depende de mecanismos políticos e econômicos, mas deve ser considerado sob condições ecológicas para garantir o provimento de serviços ecossistêmicos visando um desenvolvimento econômico sustentável.

14.3 A influência da gestão hídrica do sistema Cantareira na bacia PCJ

Os movimentos denominados de Entradas e das Bandeiras, no século XVI, foram a origem de ocupação no sul de Minas Gerais, no interior de São Paulo e Rio de Janeiro. Pequenos núcleos de apoio, para abrigo e alimentação dos bandeirantes durante as viagens, se desenvolveram surgindo as primeiras atividades agrícolas de uso do solo. No século XVII, a economia baseada na exploração do ouro influenciou a ocupação do território mineiro, concentrando a ocupação do estado em áreas de garimpo. Com o declínio da era do ouro, ocorreu o crescimento da atividade agrícola, principalmente a criação de gado e agricultura (IRRIGART, 2004).

Na década de 1970, intensificou-se o crescimento urbano e industrial na bacia, resultado da localização estratégica e das vias de acesso, aliadas às características ambientais

favoráveis para agricultura e indústria. A demanda pelo uso da água reflete a situação socioeconômica, com o uso dos recursos hídricos para o abastecimento público e carreamento de esgotos (SOUZA, 2005; BARBOSA, 2009). Essa situação apresenta a relação crítica entre o uso e a disponibilidade dos recursos hídricos, uma vez que são atividades impactantes para a qualidade e quantidade de água, corroborando para uma crise socioeconômica.

A gestão dos recursos hídricos do Estado de São Paulo considera 22 zonas hidrográficas denominadas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs). A bacia do Rio Tietê foi subdividida em seis UGRHIs devido à extensão total da área da bacia e as diferentes características hidrológicas e de uso do solo. Na região médio-superior da bacia do Rio Tietê são definidas três unidades: UGRHI 5 composta pelas bacias dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari, UGRHI 6, correspondente à bacia do Alto Tietê, e a UGRHI 10, com a bacia do rio Sorocaba e a bacia do Médio Tietê (MORTATTI *et al.*, 2004).

O Rio Tietê, cuja hidrografia percorre todo o estado de São Paulo na direção sudeste-noroeste, nasce a 840 m de altitude a 25 km da cidade de Salesópolis (MG), encontrando o Rio Paraná após 1.050 km, na cidade de Itapura (SP). O maior parque industrial da América do Sul é alimentado pela usina hidrelétrica de Itaipu, situada à jusante da sua bacia de drenagem (MORTATTI *et al.*, 2004). Além disso, recebe a contribuição pela transposição de bacia do Rio Piracicaba, com a finalidade de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), por meio do sistema Cantareira, que regulariza e distribui a água (GROPPO *et al.*, 2001).

Durante a crise hídrica de 2014, uma das soluções propostas pela SABESP foi a transposição de águas da bacia do Rio Paraíba do Sul (reservatório da usina hidrelétrica - UHE de Jaguari) para a bacia do Rio Piracicaba (reservatório de Atibainha), com o funcionamento iniciado em 2018 e regulamentado pela Resolução ANA 1931/2017. Esse trabalho resultou de uma ação do Grupo Técnico composto de representantes dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP e da ANA. A resolução prevê uma vazão máxima de captação da UHE Jaguari de 8,5 m³/s, e a captação máxima no reservatório Atibainha de 12,2 m³/s (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2017).

A cidade de São Paulo apresenta um histórico de gestão de recursos hídricos caracterizado pela captação de água em distâncias cada vez maiores, com maior custo e aumento de perdas. Parte do volume do sistema de captação que abastece a população garante a compensação da vazão que é perdida no sistema de distribuição. Isso também resulta em rodízio escalonado no abastecimento, justificado pela necessidade de manutenção na rede. O agravamento da situação no saneamento público deve-se ao fato de que 950 km² da área urbana da cidade encontra-se impermeabilizada, em uma área total de 1.500 km² (DOWBOR, 2005).

As bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), com 15.303,67 km² e população estimada em 5,2 milhões de habitantes, promovem o abastecimento público de 76 municípios total ou parcialmente, sendo 5 municípios mineiros, dependentes dessas águas para consumo humano, indústrias, irrigação de plantações e produção de energia elétrica (CBH-PCJ, 2013). O conjunto das três bacias hidrográficas constitui a UGRHI 5, mas os três rios possuem bacias hidrográficas geograficamente distintas, interligadas pelo sistema de captação, reversão e lançamento entre bacias (CASTELLANO; BARBI, 2006).

O Sistema de Abastecimento de Água Cantareira foi um projeto da secretaria de obras de São Paulo quando Eduardo R. Yassuda, engenheiro sanitário, assumiu a posição de secretário. As obras iniciaram em 1968 com o DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica) como sócio controlador do sistema (antiga COMASP) e foram necessários 32 anos para a finalização do projeto e o abastecimento de um total de 10 milhões de pessoas no ano 2000. Em seis anos após o início da execução foram utilizados 2/3 do orçamento total, viabilizando

11 m³s⁻¹ para captação. O sistema atual é composto por um conjunto de seis reservatórios de água que transportam 31 m³s⁻¹ da bacia do Rio Piracicaba para a bacia do Alto Tietê, abastecendo cerca de 9 milhões de pessoas, incluindo um polo industrial (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS DE SANEAMENTO BÁSICO, 2007; CHIODI *et al.*, 2013).

A construção do sistema iniciou em 1965 e foi realizada em duas etapas, quais sejam, Rios Juqueri, Atibainha e Cachoeira, contribuindo com 11 m³s⁻¹ a partir de 1975, e Rios Jacaré e Jaguari, com início de operação em 1981. A vazão da bacia do Rio Piracicaba é complementada pela captação na bacia do Rio Juqueri, totalizando 33 m³s⁻¹ até a estação de tratamento de água do Guaraú, na cidade de São Paulo (GROPPO *et al.*, 2001). O sistema abrange a área de aproximadamente 227.950 ha e 12 municípios: Camanducaia, Extrema, Itapeva e Sapucaí - Mirim, no estado de Minas Gerais, e Bragança Paulista, Caieiras, Franco da Rocha, Joanópolis, Nazaré Paulista, Mairiporã, Piracaia e Vargem, no estado de São Paulo (CBH-PCJ, 2013).

Enquanto a bacia do Alto Tietê abriga a maior região metropolitana e geradora de riqueza do país, as bacias PCJ são responsáveis pelo abastecimento da região metropolitana de Campinas, respondendo por mais de 7% do PIB brasileiro (CASTELLANO; BARBI, 2006). A demanda de água prevista para o atendimento de todas as necessidades no Plano de Bacias, é de 36 m³s⁻¹ (52% para abastecimento urbano, 29% para o industrial e 18% para o setor rural). Existem trechos das bacias com obrigatoriedade de reuso, devido ao estado crítico da relação oferta e demanda (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, PCJ, 2013). No entanto, a escassez na região decorre também da baixa qualidade da água. O aumento no consumo e a degradação da qualidade na bacia do Rio Piracicaba, nas últimas décadas, foram causados pela expansão urbana e agroindustrial, e agravado pela deficiência de práticas de conservação do solo e a reversão hidráulica para a RMSP. O tratamento de esgoto doméstico e industrial e a racionalização do uso da água ainda são ineficientes na bacia (GROPPO *et al.*, 2001; CASTELLANO; BARBI, 2006).

Em uma escala espacial mais abrangente, a governança do Sistema Cantareira possui maior complexidade, uma vez que a ANA considera uma interdependência significativa dos mananciais utilizados para abastecimento da Macrometrópole Paulista, que inclui a Região Metropolitana de São Paulo, a Região Metropolitana de Campinas, a Baixada Santista e áreas adjacentes, como a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o que evidencia a importância estratégica das bacias do Alto Tietê, PCJ e Paraíba do Sul (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2015).

Mortatti *et al.* (2004) demonstraram, por meio de séries históricas, que a vazão do Rio Piracicaba (situada a montante) apresenta oscilações normais abaixo da média a partir da década de 1980. No mesmo período, houve um aumento significativo de vazão no Rio Tietê (localizado a jusante). A represa de Salto Grande refletiu no aumento de vazão do Rio Piracicaba e, na separação de hidrógrafas, cerca de 70% do escoamento total foi proveniente da recarga subterrânea. Groppo *et al.* (2001) concluíram que os rios da bacia do Rio Piracicaba, sob influência do Cantareira, apresentaram tendências negativas significativas no período da série histórica analisada, de 1947 a 1996, especialmente os Rios Jaguari e Atibaia.

Em relação à gestão hídrica na bacia PCJ, Chiodi *et al.* (2013) consideram que a aplicação do mecanismo de Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) implantado na gestão da bacia, não é suficiente para investimentos necessários no meio rural. Os autores enfatizam que existem dificuldades em relação à participação nos processos de tomada de decisão, o que influencia na definição de demandas e prioridades. Por outro lado, o fato de áreas rurais possuírem menor densidade populacional e demanda hídrica, em relação à RMSP, acarreta na aplicação dos investimentos em locais distantes dos produtores do benefício ou de forma indireta. As estimativas para a Macrometrópole Paulista, no ano 2035, é de 37 milhões de habitantes, sendo 36 milhões urbanos. Segundo as notícias publicadas pelo Departamento de

Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo -DAEE (2022), estão em execução duas novas barragens na bacia PCJ, com conclusão prevista para 2023, a fim de regularizar as vazões dos rios Jaguari e Camanducaia, com um aumento da capacidade de armazenamento útil de 85 bilhões de litros de água (32 bilhões de litros na barragem Pedreira, e cerca de 53 bilhões de litros no reservatório da Barragem Duas Pontes).

14.4 A aplicação do instrumento de outorga em situação de crise hídrica para a bacia do Rio Piracicaba

Nesse contexto, de uso múltiplo da água em macrometrópoles e sistemas hidráulicos complexos, a gestão dos recursos hídricos é essencial para garantir os direitos e deveres previstos na legislação federal, especificamente na Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei Federal 9433/1997.

A política apresenta a água como um bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico, e seu uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais. Além disso, prevê que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas, considerando a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, de forma descentralizada e participativa (BRASIL, 1997). Na bacia PCJ, a gestão compartilhada, em função do histórico complexo de uso da água pelo Sistema Cantareira, iniciou-se em 1989 por meio do Consórcio PCJ e pela criação do Comitê das Bacias Hidrográficas PCJ, a partir de 1993, o primeiro a ser implementado após a Lei Paulista de Recursos Hídricos, a Lei Estadual 7.663 de 1991 (CASTELLANO; BARBI, 2006). Entre as iniciativas, além do PSA já citado, destaca-se a criação do Banco de Águas em 2009, um volume armazenado para garantir maiores vazões para a bacia na época de estiagem (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, PCJ, 2013). Uma medida anterior, mas não menos importante para a eficiente gestão, é a cobrança pelo uso da água, instituída desde 2006 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2007). São valores que podem ser aplicados em diferentes projetos para melhoria do sistema produtor de água ou saneamento, inclusive nos projetos de restauração florestal de nascentes.

Para Dowbor (2005), o problema na gestão dos recursos hídricos é a dinâmica de regulação do setor, que é inadequada diante das relações técnicas e ambientais de uma sociedade moderna. O sistema Cantareira é um caso clássico de gestão descentralizada, participativa, integrada e compartilhada da água, mostrando que a participação da sociedade nos processos decisivos é fundamental para garantir o direito previsto na Constituição Federal. A composição do conselho participativo, em suas diferentes esferas federal, estadual e municipal, apresenta-se como o canal mais eficaz de participação da sociedade na gestão pública (SIQUEIRA, 2005). Assim, a análise de experiências passadas e de possíveis cenários futuros apresenta-se como subsídio importante no contexto da gestão compartilhada de água entre bacias.

Denominado Sistema Equivalente (SE), o conjunto de reservatórios Jaguari-Jacaré, Cachoeira e Atibainha, funciona como um reservatório único com capacidade total de 1.459 milhões de m³, dos quais 973 milhões estão dentro do volume útil total, localizados a montante da bacia do Rio Piracicaba. O Sistema Cantareira depende do SE e do reservatório Paiva Castro.

A outorga para transferência de vazão, com a primeira licença datada de 1974, é de 31,0 m³s⁻¹ para a RMSP. Para as Bacias PCJ, a vazão total de descarregamento foi estipulada em 5,0 m³s⁻¹. A demanda primária de vazão do conjunto, para atendimento prioritário, totaliza 27,8 m³s⁻¹ (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2007; COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, PCJ, 2013).

O primeiro prazo concedido para a outorga de água à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) venceu em 2004, com vigência de 30 anos. Foi um momento esperado pela gestão das bacias PCJ, que sofreram prejuízos desde o início das operações do sistema Cantareira. Em 1984, uma severa estiagem causou mortalidade de peixes no Rio Piracicaba e foi criada a Operação Estiagem na Bacia do Piracicaba, com o intuito de controlar as vazões e garantir a vazão outorgada para a RMSP. A partir de 1989, outras iniciativas para o monitoramento das vazões do sistema foram implementadas, resultando na Câmara Técnica de Monitoramento Hidrológico no CBH-PCJ, em 1994. No intuito de propiciar dados técnicos para o embasamento das discussões, visando a gestão compartilhada e racional da água para o Sistema Cantareira e bacias PCJ, em 2003, criou-se o Grupo Técnico Cantareira, contribuindo para as decisões sobre renovação da outorga. O resultado foi a garantia de vazões mínimas em 95% do tempo, sendo que a responsabilidade do funcionamento do sistema passou a ser compartilhado entre SABESP e CBH-PCJ. O banco de águas foi aprovado, ou seja, em caso de vazão superior à demanda, haveria um estoque armazenado nos reservatórios para o abastecimento em situações de estiagem (CASTELLANO; BARBI, 2006; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013). O prazo de concessão da outorga à SABESP foi reduzido de 30 para 10 anos, com a renovação datada para o ano 2014 prorrogada para 2015 e depois para 2017, em função das condições hidrológicas extremas que ocorreram durante esse período.

Devido à importância do Sistema Cantareira para atendimento das demandas de água das bacias PCJ e Alto Tietê (AT), à excepcional falta de chuvas no ano de 2014 no sudeste brasileiro (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2015) e consequente redução nas vazões de afluência no período de dezembro de 2013 a janeiro de 2014, foi instituído o Grupo Técnico de Assessoramento para Gestão do Sistema Cantareira (GTAG - Cantareira). Criado pela Resolução Conjunta da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) 120 de 10/2/2014, o grupo foi formado por representantes da ANA, DAEE, SABESP, Comitês de Bacia PCJ e AT. O objetivo foi assessorar as autoridades nas tomadas de decisão referentes à outorga de uso da água, monitorar dados dos reservatórios e estruturas do Cantareira, e emitir relatórios semanais disponibilizados ao público, por meio dos ambientes virtuais das instituições, com as situações diárias e recomendações técnicas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2014c).

A Resolução Conjunta ANA-DAEE 335, de 5/3/2014, extinguiu o saldo existente no Banco de Águas, passando o Estado do Sistema Equivalente (SE) a ser igual ao volume útil armazenado (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2014a). Diante da situação crítica dos reservatórios em 2014, as recomendações do grupo foram: (i) reavaliação das vazões pretendidas pela SABESP no Túnel 5 (ETA Guaraú); (ii) estabelecimento de metodologia para operação do Sistema Equivalente, para o atendimento às demandas da RMSP e das bacias PCJ, em 2014; (iii) que a ANA e o DAEE, estudassem e viabilizassem medidas de restrição de uso para os usuários dessas bacias; (iv) definição de meta para as vazões a serem praticadas de $19,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para a RMSP e $3,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para as bacias PCJ, até que fossem definidas as novas metodologias e a renovação da outorga.

O funcionamento definido para a gestão do banco de águas não garantiu a melhor administração do volume armazenado. Nos verões de 2009/2010 e 2010/2011 ocorreram enchentes e transtornos em geral, inclusive com ocorrência de óbitos. O volume das represas do sistema atingiu o limite de armazenamento e o banco de águas foi zerado (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, PCJ, 2013). Mesmo considerando as vazões estabelecidas, de $5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para as Bacias PCJ e de $31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para o Alto

Tietê, o mecanismo necessita de aperfeiçoamento, pois existem volumes armazenados que poderiam garantir o balanço hídrico para a bacia do Piracicaba em momentos de estiagem.

As pesquisas realizadas nas bacias demonstram que há uso inadequado do solo, crescente demanda por volume de água, redução da qualidade e alteração dos regimes hídricos. Há estimativa de que a situação na bacia para 2050 será muito próxima de não ser sustentável, recomendando-se que medidas sejam tomadas para evitar os piores cenários (SÁNCHEZ-ROMÁN *et al*, 2009).

Para garantir o abastecimento público, foi instituída a primeira reserva técnica (volume morto) dos reservatórios, em maio de 2014, acrescentando 182,5 milhões de m³ ao sistema (18,5%). Em outubro de mesmo ano, o sistema obteve o acréscimo de 105 milhões de m³ (10,7%), conforme ANA (2014b) e ANA (2014c), atribuindo à agência SABESP a responsabilidade da gestão hídrica do sistema, por meio de comunicados conjuntos elaborados pela ANA e DAEE. De acordo com o relatório da ANA (2015) a reserva técnica total do sistema representa cerca de 33% da capacidade de armazenamento, equivalente a aproximadamente 486 milhões de m³ de água, do qual foram utilizados 59,15% durante a crise hídrica de 2014. Essa medida foi emergencial, uma vez que esse volume adicionado ao sistema correspondeu ao volume morto do reservatório. Assim, a utilização do volume da reserva técnica durou aproximadamente 4 meses nesse período crítico (CEMADEN, 2015). Essa reserva não foi considerada para o cálculo de volume útil proporcionado pelo sistema, pois corresponde ao volume necessário para manter a reserva e garantir o escoamento da vazão mínima a jusante, além de apresentar características inferiores de qualidade da água.

No último trimestre de 2015 o SE apresentou uma recuperação da vazão, com valores acima das mínimas mensais registradas no período de 1930 a 2013 (CEMADEN, 2016). Em fevereiro de 2016 o sistema forneceu a vazão de 14,39 m³s⁻¹ para a RMSP e de 0,15 m³s⁻¹ para as bacias PCJ, observando-se a elevação de 7,51% no volume útil, alcançando 23,44%, correspondendo a 228,24 milhões de m³. Em março de 2016, foi estabelecido um novo cronograma para a renovação de outorga do Sistema Cantareira, distribuído em nove etapas. Nesse período, ocorreu a suspensão temporária da concessão de outorgas de captações de águas superficiais nas bacias hidrográficas da região, como uma medida de melhorar a segurança hídrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2015). As médias de vazão observadas para o ano de 2016 apresentaram valores acima dos dois anos anteriores, mas não alcançou a média de 30 anos registrada para a região (CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS, 2017).

Uma das medidas implementadas durante a crise hídrica foi a transferência de águas do reservatório Jaguari, na bacia do Paraíba do Sul, para o reservatório Atibainha, nas bacias PCJ. Essa alternativa foi mediada pelo Supremo Tribunal Federal (STF) devido ao conflito interfederativo com os Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, e foi concluído em 2015. As obras referem-se à interligação dos 2 reservatórios por meio de um túnel, sendo realizada pela SABESP. O funcionamento desse sistema ocorre em emergência, quando o volume no reservatório Atibainha estiver com menos de 30% do seu volume de funcionamento e com vazão média de captação no reservatório de até 5,13 m³s⁻¹. Embora o limite anual de transferência seja de 162 milhões de m³ de água, no ano de 2021, a SABESP obteve uma autorização adicional para realizar a captação na UHE Jaguari, mesmo já atingido o máximo previsto anual.

A outorga do Sistema Cantareira para a Sabesp foi renovada pela Resolução Conjunta ANA-DAEE n. 925 de 30 de maio de 2017, mantendo-se a captação máxima (média mensal) permitida de 33,0 m³s⁻¹ com prazo de 10 anos. Foram estabelecidas condições de operação dos reservatórios a fim de melhorar a segurança hídrica principalmente em períodos críticos, com cinco faixas de volume operacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO

BÁSICO; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017).

A nova Resolução que estabeleceu o funcionamento da outorga em 2017, prevê várias condições hidráulicas, mediante o comportamento climático e situação dos reservatórios, com a vazão máxima mensal de captação estabelecida em $33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a mínima de $15,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A decisão conjunta de órgãos gestores, baseada em emergência, bem como os limites mínimos estabelecidos para os reservatórios que compõem o sistema hidráulico, estão previstos na nova gestão hídrica. Para o PCJ, o regime de vazão está condicionado ao período úmido e seco, de acordo com os níveis de monitoramento dos reservatórios, com vazão mínima média diária de $10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em Valinhos, de $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em Buenópolis e de $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em Atibainha (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017)

A nova outorga estabeleceu, ainda, prazos para a Sabesp apresentar estudos e planos para a gestão hídrica, incluindo ações semelhantes ao Programa Produtor de Água da ANA, com ações para redução da erosão e assoreamento, melhorias para a captação e a infiltração da água da chuva e na qualidade da água produzida nas bacias. O "banco de águas" foi substituído por um mecanismo econômico de compensação, uma vez que as águas não utilizadas, ao final do período de seca, pela bacia PCJ poderão ser disponibilizadas para a Sabesp mediante pagamento definido entre os interessados.

De acordo com os relatórios publicados pelo Comitê PCJ, os dados sobre outorga e cobrança na UGRHI são divididos em rios de domínio da União, do Estado de São Paulo e do Estado de Minas Gerais. Considerando os volumes outorgados de captação destinados, ao uso rural corresponde a 0,27% (especificamente para irrigação no âmbito federal), 0,39% e 0,78%, respectivamente. Tanto no direito de uso quanto nos valores arrecadados por meio da cobrança de uso pelos recursos hídricos, o abastecimento público é o mais significativo (PCJ, 2021).

14.5 Considerações finais

Notável o desenvolvimento das ações no âmbito dos Comitês de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ). Uma bacia altamente industrializada e com nível crítico de disponibilidade de água, que desde a sua criação implantou os cinco instrumentos da Lei 9433/97, inclusive a cobrança pelo uso da água, com ampla participação dos usuários (indústria, abastecimento e agricultura), representantes municipais, estaduais e da federação, caracterizada pelo amplo debate resultando em uma gestão descentralizada, integrada e participativa. Embora os desafios para a gestão hídrica na bacia persistam, seja pelas condições climáticas ou diferentes usos múltiplos e ocupação da bacia, deve ser considerado como um exemplo de aplicação da PNRH em busca da sustentabilidade no uso dos recursos hídricos.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **A Implementação da Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos e Agência de Água das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Brasília: ANA, SAG, 112p., 2007. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/BaciaPCJ/Textos/LIVRO.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Comunicado conjunto ANA/DAEE - SISTEMA CANTAREIRA n. 335, de 05/03/2014**, ANA, 2014a. Disponível em: <<https://agenciapcj.org.br/docs/gestao/resolucao-ana-dae-335.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Comunicado conjunto ANA/DAEE - SISTEMA CANTAREIRA n. 230, de 06/03/2014**, ANA, 2014b. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/GTAG-Cantareira/20140306_Comunicado_ANA_DAEEN_230.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Nota Conjunta ANA/DAEE de 07 de fevereiro de 2014**, ANA, 2014c. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1217:nota-conjunta-anadaee&catid=41:outorga&Itemid=68>. Acesso em: 14 mar. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Resolução Conjunta ANA/DAEE n. 120 de 10/2/2014 que cria o Grupo Técnico de Assessoramento para Gestão do Sistema Cantareira**, ANA, 2014d. Disponível em: <<http://www.agenciapcj.org.br/novo/imprensa/301-saneamento-e-recursos-hidricos>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2014**: Encarte especial sobre a Crise Hídrica. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR, ANA, Brasília, 31p., 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Resolução n. 1.931, de 30 de outubro de 2017**, Documento 00000.071669/2017-32, ANA, 2017. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/resolucoes/ana/2017/1931-2017.pdf>>. Acesso em: 22 mai.2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE. **Dados de referência acerca da outorga do Sistema Cantareira**, v.1,0, ANA, 2013. Disponível em: <http://audienciapublica.ana.gov.br/arquivos/Aud_001_2014_DadosdeReferenciaAcercadaOutorgadoSistemaCantareira.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE. **Resolução Conjunta ANA/DAEE n. 925 de 29 de maio de 2017**, ANA, 2017. Disponível em: <http://www.sspcj.org.br/images/downloads/RESOLUCAO_CONJUNTA_ANA_DAEENo_925_de_29-05-2017.pdf>. Acesso em 28 jan. 2018.

BARBOSA, J.E.C. **Usos do solo e impactos socioambientais nas bacias hidrográficas dos rios Camanducaia e Jaguarý**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 103p., 2009.

BÖRNER, J.; VOSTI, S.A. Managing tropical forest ecosystem services: an overview of options, p.21-46. In: MURADIAN, R.; RIVAL, L. (Eds.) *Governing the provision of Ecosystem Services*. Springer, **Studies in Ecological Economies**, v.4, 481p., 2013

BRASIL. Lei Federal 9433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 23 mar. 2014.

BREMER, L.L.; AUERBACH, D.A.; GOLDSTEIN, J.H.; VOGL, A.L.; SHERIDAN, D.; KROEGER, T.; NELSON, J.L.; BENÍTEZ, S.P.; CALVACHE, A.; GUIMARÃES, J.; HERRON, C.; HIGGINS, J.; KLEMM, C.; LEÓN, J.; LOZANO, J.S.; MORENO, P.H.; NUÑEZ, F.; VEIGA, F.; TIEPOLO, G. One size does not fit all: Natural infrastructure investments within the Latin American Water Funds Partnership. **Ecosystem Services**: v.17, p.217-236, 2016.

CASTELLANO, M.; BARBI, F. Avanços na gestão compartilhada dos recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. São Paulo, Fundação Seade. **São Paulo em Perspectiva**, v.20, n.2, p.46-58, 2006. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Relatório da Situação Atual e Previsão Hidrológica para o Sistema Cantareira de 22 de janeiro de 2015**, CEMADEN, 2015. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/cantareira/arquivos/Relatorio_SistemaCantareira_20150122-2.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Relatório Semanal da Situação Atual e Projeção Hidrológica para o Sistema Cantareira de 6 de**

- janeiro de 2016.** CEMADEN, 2016. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/cantareira/arquivos/Relatorio_SistemaCantareira_20160106.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Situação Atual e Projeção Hidrológica para o Sistema Cantareira de 3 de janeiro de 2017**, CEMADEN, 2017. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/01/Relatorio_SistemaCantareira_20170103.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.
- CHIODI, R.E.; SARCINELLE, O.; VEZU, A. Gestão dos recursos hídricos na área do sistema produtor de água Cantareira: um olhar para o contexto rural. **Ambiente e água - An Interdisciplinary Journal of applied Science**, 2013. Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/download/1162/1371>>. Acesso em 27 fev. 2014.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, PCJ, 2014. **Compilado de Informações, Reflexões e Propostas Voltadas a Renovação da Outorga do Sistema Cantareira, Minuta final**, PCJ, 2013. Disponível em: <http://www.agua.org.br/editor/file/Minuta%20Final_Consortio_PCJ.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa "Sistema de Macrodrenagem do Rio Baquirivu-Guaçu, Barragens Pedreira e Duas Pontes"**, DAEE, 2022. Disponível em: <<https://www.daeepedreiraeduaspontes.com.br/index.php/ver-mais-noticias/193-associados-do-consorcio-pcj-e-profissionais-do-dae-posam-para-foto-oficial-a-visita-tecnica-das-obras-da-barragem-duas-pontes-amparo>>. Acesso em: 22 mai. 2022.
- DOWBOR, L. Economia da água. In: DOWBOR, L.; TAGNIN, R.A.(Orgs). **Administrando a água como se fosse importante: gestão ambiental e sustentabilidade**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, p.27-36., 2005.
- ENGEL, S.; PAGIOLA, E.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v.65, p.663-674, 2008.
- FERRAZ, S.F.B.; FERRAZ, K.M.P.M.B.; CASSIANO, C.C.; BRANCALION, P.H.S.; LUZ, D.T.A.; AZEVEDO, T.N.; TAMBOSI, L.R.; METZGER, J.P. How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? **Landscape Ecology**, v.29, p.187-200, 2014
- GOLDMAN, R.L.; BENITEZ, S.; CALVACHE, A.; DAVIDSON, S.; ENNAANAY, D.; MCKENZIE, E.; TALLIS, H. Water Funds for conservation of ecosystem services in watersheds. Colombia, TEEBcase, 2010.
- GROPPO, J.D.; MILDE, L.C.E.; GUAMERO, M.E.; MORAES, J.M.; MARTINELLI, L.A. Análise de Séries Temporais de Vazão e de Precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v.8, n.18, p.109-117, 2001. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct18.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2014.
- HELM, D. **Natural Capital, Valuing our Planet**. Yale University Press, 277p., 2015.
- IRRIGART. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas PCJ 2002-2003**, 2004.
- JARDIM, M.H.; BURSZTYN, M.A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.3, p.353-360, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283859805_Pagamento_por_servicos_ambientais_na_gestao_de_recursos_hidricos_o_caso_de_Extrema_MG>. Acesso em: 27 mar. 2018.
- KRAMARZ, T. Partnerships in global governance: the growth of a procedural norm without substance?, p.47-66. In: MURADIAN, R.; RIVAL, L. (Eds.) **Governing the provision of Ecosystem Services**. Springer, **Studies in Ecological Economies**, v.4, 481p., 2013.
- LE-COQ, J.; SOTO, G.; HERNÁNDEZ, C.G. PES and Eco-Label: a comparative analysis of their limits and opportunities to foster environmental services provision, cap 7., p.162-278. In: RAPIDEL, B.; DeCLERCK, F.; LE COQ, J.; BEER, J. **Ecosystem services from agriculture and agroforestry - measurement and payment**. Earthscan, London, Washington, DC, 414p., 2011.

- MAGRIGAL-BALLESTERO, R. Estimating the cost and benefits of supplying hydrological ecosystem services – an application for small-scale rural drinking water organizations, cap 7., p.162-278. In: RAPIDEL, B.; DeCLERCK, F.; LE COQ, J.; BEER, J. **Ecosystem services from agriculture and agroforestry - measurement and payment**. Earthscan, London, Washington, DC, 414p., 2011.
- MORTATTI, J.; JÚNIOR, M.J.B.; MILDE, L.C.E.; PROBST, J. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v.12, n.23, p.55-67, 2004. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct23.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2014.
- MULLIGAN, M.; BENITEZ, S.P.; LOZANO, J.S.; LEÓN, J. Policy support systems for the development of benefit-sharing mechanisms for water-related ecosystem services. In: MARTIN-ORTEGA, J.; FERRIER, R.C.; GORDON, I.J.; KHAN, S. (Org.). **Water Ecosystem Services: A Global Perspective**. 1ed.London: Cambridge University Press, v.1, p.99-109, 2005.
- PAGIOLA, S.; ARCENAS, A.; PLATAIS, G. Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America. **World Development**, v.33, n.2, p.237-253, 2005.
- PCJ. **Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá para o quadriênio 2008-2011** (PBH). PCJ Piracicaba: STS-Engenharia Ltda., 655p., 2007.
- PCJ. Estado dos cadastros de usuários nas bacias pcj no ano de 2020. **Agência de Bacias PCJ**, 2021. Disponível em: <<https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/2021/01/3E-Cadastro-de-Usu%C3%A1rios-2020-o-estado-da-arte.pdf>>. Acesso em: 23/5/2022.
- PRINS, C.; LEÓN, J. Securing the continuous supply of drinking water in a territory requires concerted actions and integrating intervention strategies, cap. 16, p.347-364. In: RAPIDEL, B.; DeCLERCK, F.; LE COQ, J.; BEER, J. **Ecosystem services from agriculture and agroforestry - measurement and payment**. Earthscan, London, Washington, DC, 414p., 2011.
- RAPIDEL, B.; LE COQ, J.F.; DeCLERCK, F.A.J.; BEER, J. (2011) Measurement and payment of ecosystem services from agriculture and agroforestry: new insights from the neotropics, cap.17, p. 365-376. In: RAPIDEL, B.; DeCLERCK, F.; LE COQ, J.; BEER, J. **Ecosystem services from agriculture and agroforestry - measurement and payment**. Earthscan, London, Washington, DC, 414p., 2011.
- RIVAL, L.; MURADIAN, R. Introduction: governing the provision of ecosystem services, p.1-20. In: MURADIAN, R.; RIVAL, L. (Eds). **Governing the provision of Ecosystem Services**, Springer. **Studies in Ecological Economies**, v. 4, 481p., 2013.
- SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; FOLEGATTI, M.V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A.M.G. Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas. **Jaboticabal, Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, p.578-590, 2009.
- SIQUEIRA, J.E.C. Ideologia da água e privatização dos serviços de saneamento. In: DOWBOR, L.; TAGNIN, R.A. (Orgs). **Administrando a água como se fosse importante: gestão ambiental e sustentabilidade**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, p. 37-46, 2005.
- SOUZA, L.C.F. **Verificação de parâmetros hídricos da Bacia do Rio Jaguari no município de Jaguariúna**, 144p., 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2005.
- TAFFARELLO, D.; CALIJURI, M.C.; VIANI, R.A.G.; MARENGO, J.A.; MENDIONDO, E.M. Hydrological services in the Atlantic Forest, Brazil: An ecosystem-based adaptation using ecohydrological monitoring. **Climate Services**, v.8, p.1-16, 2017.
- VICTOR, M. **Brasil: o capital natural**. Botucatu, FEPAF, 288p., 2007.
- YOUNG, C.E.F.; BAKKER, L.B. Payments for ecosystem services from watershed protection: a methodological assessment of the Oasis Project in Brazil. *Natureza & Conservação*. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, v.12, p.71-78, 2014.

ZHENG, H.; ROBINSON, B.E.; LIANG, Y.; POLASKY, S.; MAE, D.; WANG, F.; RUCKELSHAUS, M.; OUYANG, Z.; DAILY, G.C. Benefits, costs, and livelihood implications of a regional payment for ecosystem service program. **PNAS**, v.110, n.41, 2013.

Salassier Bernardo

HOMENAGEM

Irrigação



Salassier Bernardo, Engenheiro-Agrônomo (1967) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), mestre em Irrigação (1969) pela University of California, Davis, USA, Ph.D. em Irrigação (1975) pela Utah State University, Logan, USA e pós-doutor (1987) pelo Institute of Irrigation Studies, da University of Southampton, UK, é ex-professor titular da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foi chefe do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e presidente do Conselho de Pós-Graduação. Orientou e coorientou cerca de 70 dissertações de mestrado e 18 teses de doutorado e assinou 150 artigos publicados em revistas científicas e técnicas, em anais de congressos e jornais. É ex-bolsista do CNPq (1A) e autor de dois livros e de três capítulos de outros. É ex-professor titular da Universidade Estadual do Norte Fluminense (Uenf), onde exerceu também o cargo de coordenador do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal e foi reitor de 1999 a 2003.

Autor do livro Manual de Irrigação com lançamento em 1982 e nona edição em 2019, completando assim 40 anos de um sucesso editorial não comum no nosso país, sendo considerado um talismã por muitos técnicos da área. Em um passado recente, o livro era uma das poucas opções técnicas na área de irrigação e, a relação dos técnicos e estudantes da área com ele superou a relação normal, por isso a palavra "talismã", significando que o livro além de ensinar e servir de consulta, é um troféu que acompanha e reafirma a opção profissional.

O Manual de Irrigação teve edições contínuas desde 1982 sendo um sucesso da literatura técnica de Irrigação, com mais de 35 mil exemplares vendidos desde o lançamento. Na primeira edição, o professor Salassier esclarece que o livro propõe transmitir conhecimentos básicos e científicos relativos à irrigação por intermédio de dois caminhos, descrevendo os diversos métodos de irrigação, proporcionando informações fundamentais para o dimensionamento de projetos de irrigação e discutindo a irrigação, drenagem e agricultura em geral. Completa dizendo que o livro Manual de Irrigação contém anotações substanciais e imprescindíveis, todas elas discutidas em aulas ministradas na UFV. Informa no lançamento da nona edição, a manutenção dessas premissas tão bem definidas, como também a afirmativa de que esta obra só pôde ser concretizada graças ao ambiente de trabalho na UFV.

A publicação do Manual de Irrigação por parte do professor Salassier Bernardo, só foi possível, com sua inteligência privilegiada, exaustiva dedicação, capacidade técnica e muita determinação, nos presenteou com essa "bíblia" da irrigação. O professor Salassier foi sempre um incansável atuante da área de irrigação, ainda hoje continua conectado com o setor através de uma incansável disponibilidade para orientar e definir estratégias relacionadas a carreira técnica dos seus inúmeros colegas e amigos. Também tem dedicado a escrever sobre temas de interesse do setor de irrigação.

Alysson Paolinelli
Durval Dourado Neto
Everardo Chartuni Mantovani
Klaus Reichardt

3 de junho de 2022

RELAÇÃO DE AUTORES, CAPÍTULOS E E-MAILS

Id	Autor	Capítulo	E-mail
1	Alide Mitsue Watanabe Cova	13	alidewatanabe@yahoo.com.br
2	Ana Sílvia Pereira Santos	9	ana.pereira@uerj.br
3	Archange Michael Illambwetsi	1	i.archange2@gmail.com
4	Claudia Moster	14	claudiamoster@ufrj.br
5	Daniel Althoff	6	daniel.althoff@ufv.br
6	Daniel Assumpção Costa Ferreira	7	daniel.ferreira@ana.gov.br
7	Demetrius David da Silva	2	demetrius@ufv.br
8	Edson Eiji Matsura	3	matsura@unicamp.br
9	Eduardo Antônio Gomes Marques	1	emarques@ufv.br
10	Fabício Lisboa Vieira Machado	9	fabriciolvm@hotmail.com
11	Felipe Bernardes Silva	9	prof.felipe.silva@unincor.edu.br
12	Gerson Cardoso Silva Júnior	1	gerson@acd.ufrj.br
13	Glauco Zely Silva Eger	1	glaucoeger@geologia.ufrj.br
14	Gregorio Guirado Faccioli	12	gregorioufs@gmail.com
15	Hans Raj Gheyi	13	hgheyi@gmail.com
16	Hiran Medeiros Moreira	5	hiran.moreira@valmont.com
17	João Gabriel Thomaz Queluz	4	jgtqueluz@gmail.com
18	Kevim Muniz Ventura	4	kevim.muniz@unesp.br
19	Lineu Neiva Rodrigues	6	lineu.rodrigues@embrapa.br
20	Luiz Antônio Lima	8	lalima@ufla.br
21	Mairton Gomes da Silva	13	mairtong@hotmail.com
22	Marcelo da Fonseca	9	fonseca.marcelo@gmail.com
23	Marco Vinícius Castro Gonçalves	7	marco.goncalves@ana.gov.br
24	Marcos Vinícius Folegatti	14	mvfolega@usp.br
25	Marcus Schmidt	10	mschmidt@senninger.com.br
26	Marília Carvalho de Melo	9	mariliacmelo@yahoo.com.br
27	Michel Castro Moreira	2	michelcm@ufv.br
28	Paulo Vitor Santa Rosa Silva	13	paulovitor.srs@hotmail.com
29	Petterson Costa Conceição Silva	13	petter.ufrb@gmail.com
30	Raimundo Rodrigues Gomes Filho	12	rrgomesfilho@hotmail.com
31	Rodrigo Máximo Sánchez Román	4	rodrigo.roman@unesp.br
32	Sandro Batista Santos Rodrigues	11	sandro.rodrigues@valmont.com
33	Sérgio Rodrigues Ayrimoraes	7	ssoares@ana.gov.br
34	Tamara Maria Gomes	3	tamaragomes@usp.br

35	Tamires Lima da Silva	4	tamiressilva@gmail.com
36	Thainan Sipriano dos Santos	13	thataysaantos.ts@gmail.com
37	Thiago Henriques Fontenelle	7	thiago.fontenelle@ana.gov.br
38	Valdemiro Simão João Pitoro	4	vpitoro@gmail.com
39	Vital Pedro da Silva Paz	13	vpspaz@gmail.com

OS ORGANIZADORES



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 e 2022). 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).

AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Recursos Hídricos e Sustentabilidade



Portal Monumental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de São Paulo