



**EPAMIG**

# INFORME AGROPECUARIO

v. 39, n. 304, 2018

ISSN 0100-3364

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Governo de Minas Gerais

## Gestão de recursos hídricos e ambientais

INFORME AGROPECUARIO



INFORME AGROPECUARIO



# CONEXÃO E CONTROLE

Gerenciamento remoto do pivô  
ao alcance de suas mãos.



## AGSENSE®

boldpropaganda



EM DIVERSAS PLATAFORMAS.

REVENDA AUTORIZADA

**BRASMAQUINAS**  
IRRIGAÇÃO



Av. Prefeito Edilson Brandão Guimarães, 1350  
Bairro São Gonçalo - Janaúba/MG  
brasmaquinas@brasmaquinas.com.br  
☎ (38) 3821-2855 📠 (38) 99185-0123

[brasmaquinas.com.br](http://brasmaquinas.com.br)

**VALLEY**

INFORME  
AGROPECUARIO



INFORME  
AGROPECUARIO



# Informe Agropecuário

Uma publicação da EPAMIG

v. 39, n. 304, 2018

Belo Horizonte, MG

## Sumário

EDITORIAL ..... 3

ENTREVISTA ..... 4

### Avanços na gestão de recursos hídricos e ambientais no meio rural

*Fúlvio Rodriguez Simão, João Batista Ribeiro da Silva Reis, Renato Pereira Claus, André Martius Santos Almeida Cruz, Thayná Guimarães Silva e Antônio Heriberto de Castro Teixeira* ..... 9

### Quantificação de variáveis biofísicas para manejo racional dos recursos hídricos no Norte de Minas Gerais

*Antônio Heriberto de Castro Teixeira, Fúlvio Rodriguez Simão, Janice Freitas Leivas, João Batista Ribeiro da Silva Reis, Gustavo Bayma Siqueira da Silva e Mauro Koji Kobayashi* ..... 18

### Sistemas Agroflorestais e recursos hídricos

*Paulo César Horta Rodrigues, Simone Fonseca Alves, José Mário Lobo Ferreira, Caroline de Souza Cruz Salomão e Rodrigo Pinto da Matta Machado* ..... 27

### Comitês de Bacia Hidrográfica, Agências de Água e a sustentabilidade financeira para o seu funcionamento

*Flávia Simões Ferreira Rodrigues, Osman Fernandes da Silva e Wagner Martins da Cunha Vilella* ..... 44

### Irrigação: manejo apropriado para evitar desperdício de água

*João Batista Ribeiro da Silva Reis, Fúlvio Rodriguez Simão, Eugênio Ferreira Coelho e Polyanna Mara de Oliveira* ..... 53

### Clima, recursos hídricos e produção agrícola: perspectivas, desafios e possibilidades para a gestão

*Williams Pinto Marques Ferreira, Marcos Antônio Vanderlei Silva e Cecília de Fátima Souza* .. 65

### Certificação de bacias hidrográficas: produção e segurança ambiental

*Paulo Pereira Martins Junior*..... 80

### Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta na avaliação da saúde de ecossistemas aquáticos no Brasil

*Carlos Augusto Pereira da Silva, Anielle Cristina Fonseca Pereira, Flávio Pimenta de Figueiredo e Flávio Gonçalves Oliveira* ..... 91

### Outorga coletiva de uso de água: o caso do Rio Japoré em Manga, MG

*Flávio Gonçalves Oliveira, Flávio Pimenta de Figueiredo, Mônica Costa Azevedo, Luana Barbosa Durães e Gbison Ferreira de Almeida* ..... 99

## Apresentação

A cada dia, a adequada gestão da água torna-se mais importante. Recentemente, mesmo em locais onde a escassez hídrica era rara, apresentaram-se situações hidrológicas anômalas, que implicaram na crise hídrica observada, por exemplo, na Região Metropolitana de Belo Horizonte e em diversas regiões de Minas Gerais e do Brasil. Esta crise teve início no ano de 2015 e prolonga-se até os dias atuais, com destaque para as regiões Semiáridas, que apresentam maior demanda hídrica. Também deve-se ressaltar a ocorrência recente de desastres ambientais em larga escala, que implicaram em degradação mais acentuada dos já escassos recursos hídricos nas bacias hidrográficas.

Complementando o contexto já tão complexo, que envolve o manejo dos escassos recursos hídricos, observa-se uma acentuada mudança climática, com implicações nas demandas hídricas, precipitações e ocorrências de veranicos em determinados períodos do ano, quando, no passado, não eram recorrentes.

Por outro lado, já é de amplo conhecimento, que há regiões no mundo cuja aridez média é superior à observada em quaisquer regiões do Brasil, nas quais, entretanto, o uso adequado da tecnologia e de uma gestão eficiente da água propicia o desenvolvimento sustentável de seus povos, mesmo em situações de habitual escassez hídrica. A produção e a riqueza geradas nos perímetros irrigados do Semiárido norte mineiro e nordeste brasileiro, e o desenvolvimento de países localizados em regiões Áridas e Semiáridas, como Israel, são exemplos disso.

Assim, é de fundamental importância a divulgação dos conhecimentos e tecnologias para o uso racional dos recursos hídricos, como se pretende nesta edição do Informe Agropecuário.

*João Batista Ribeiro da Silva Reis  
Fúlvio Rodriguez Simão  
Polyanna Mara de Oliveira*



© 1977 Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)

ISSN 0100-3364

INPI: 006505007

#### CONSELHO DE PUBLICAÇÕES E INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

*Trazilbo José de Paula Júnior*

*Marcelo Abreu Lanza*

*Vânia Lúcia Alves Lacerda*

*Beatriz Cordenonsi Lopes*

#### COMISSÃO EDITORIAL DE PUBLICAÇÕES E INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

*Trazilbo José de Paula Júnior*

*Beatriz Cordenonsi Lopes*

*Vânia Lúcia Alves Lacerda*

*Marcelo Abreu Lanza*

#### EDITORES TÉCNICOS

*João Batista Ribeiro da Silva Reis, Fúlvio Rodriguez Simão e*

*Polyanna Mara de Oliveira*

#### CONSULTORES TÉCNICOS

*Marco Antônio Rosa de Carvalho (Instituto Federal de Sobral - CE) e Robson Alexandro de Sousa (Universidade do Rio Grande do Norte - RN)*

#### PRODUÇÃO

##### DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

##### EDITORA-CHEFE

*Vânia Lúcia Alves Lacerda*

##### DIVISÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL

*Fabriciano Chaves Amaral*

##### REVISÃO LINGUÍSTICA E GRÁFICA

*Marlene A. Ribeiro Gomide e Rosely A. R. Battista Pereira*

##### NORMALIZAÇÃO

*Fátima Rocha Gomes*

##### PRODUÇÃO E ARTE

**Diagramação/formatação:** *Ângela Batista P. Carvalho e Fabriciano Chaves Amaral*

##### Coordenação de Produção Gráfica

*Ângela Batista P. Carvalho*

##### Capa:

*Ângela Batista P. Carvalho*  
Foto: Dimas Renato Esteves (Regiões hidrográficas com origem no estado de Minas Gerais - imagens SRTM/NASA).

##### Contato - Produção da revista

(31) 3489-5075 - dpit@epamig.br

**Impressão:** EGL Editores Gráficos Ltda.

**Circulação:** abril 2019

## Informe Agropecuário é uma publicação trimestral da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização escrita do editor. Todos os direitos são reservados à EPAMIG.

Os artigos assinados por pesquisadores não pertencentes ao quadro da EPAMIG são de inteira responsabilidade de seus autores.

Os nomes comerciais apresentados nesta revista são citados apenas para conveniência do leitor, não havendo preferências, por parte da EPAMIG, por este ou aquele produto comercial. A citação de termos técnicos seguiu a nomenclatura proposta pelos autores de cada artigo.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

#### AQUISIÇÃO DE EXEMPLARES

##### Divisão de Negócios Tecnológicos

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - União

CEP 31170-495 Belo Horizonte - MG

www.informeagropecuario.com.br; www.epamig.br

(31) 3489-5002 - publicacao@epamig.br

CNPJ (MF) 17.138.140/0001-23 - Insc. Est.: 062.150146.0047

#### DIFUSÃO INTERINSTITUCIONAL

*Dorotéia Resende de Moraes e Maria Lúcia de Melo Silveira*

*Biblioteca Professor Octávio de Almeida Drumond*

(31) 3489-5073 - biblioteca@epamig.br

EPAMIG Sede

Informe Agropecuário. - v.3, n.25 - (jan. 1977) - . - Belo Horizonte: EPAMIG, 1977 - .  
v.: il.

Bimestral - até 2017, Trimestral - 2018  
Cont. de Informe Agropecuário: conjuntura e estatística. - v.1, n.1 - (abr.1975).  
ISSN 0100-3364

1. Agropecuária - Periódico. 2. Agropecuária - Aspecto Econômico. I. EPAMIG.

CDD 630.5

O Informe Agropecuário é indexado na AGROBASE, CAB INTERNATIONAL e AGRIS

**Governo do Estado de Minas Gerais**  
**Secretaria de Estado de Agricultura,**  
**Pecuária e Abastecimento**

Governo do Estado de Minas Gerais  
Romeu Zema Neto  
Governador

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Ana Maria Soares Valentini  
Secretária



**Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais**

**Conselho de Administração**

Ana Maria Soares Valentini	<b>Suplentes</b>
Sebastião Barbosa	Ligia Maria Alves Pereira
Glênio Martins de Lima Mariano	Guilherme Henrique de Azevedo Machado
Neivaldo de Lima Virgílio	João Ricardo Albanez
Maria Lélia Rodriguez Simão	Reginério Soares Faria
Marco Antonio Viana Leite	

**Conselho Fiscal**

Márcio Maia de Castro	<b>Suplentes</b>
Livia Maria Siqueira Fernandes	Marcelo de Sousa Magalhães
Amarildo José Brumano Kalil	Pedro Dangelo Ribeiro

**Presidência**

Trazilbo José de Paula Júnior  
(Em exercício)

**Diretoria de Operações Técnicas**

Trazilbo José de Paula Júnior

**Diretoria de Administração e Finanças**

Guilherme Henrique de Azevedo Machado

**Gabinete da Presidência**

Maria Lélia Rodriguez Simão

**Assessoria de Assuntos Estratégicos**

Beatriz Cordenonsi Lopes

**Assessoria de Comunicação**

Fernanda Nívea Marques Fabrino

**Assessoria de Contratos e Convênios**

Eliana Helena Maria Pires

**Assessoria de Informática**

Gilberto Stoduto de Melo

**Assessoria Jurídica**

Melquisedec Inácio Teixeira

**Assessoria de Negócios Agropecuários**

Mauro Lúcio de Rezende

**Auditoria Interna**

Adriana Valadares Caiafa

**Departamento de Gestão de Pessoas**

Marcelo Ribeiro Gonçalves

**Departamento de Informação Tecnológica**

Vânia Lúcia Alves Lacerda

**Departamento de Infraestrutura e Logística**

Ricardo Alves de Oliveira

**Departamento de Inovação, Negócios Tecnológicos e**

**Suporte Jurídico à Pesquisa**

Thales Santos Terra

**Departamento de Orçamento e Finanças**

Patrícia França Teixeira

**Departamento de Pesquisa**

Beatriz Cordenonsi Lopes

**Departamento de Suprimentos**

Mauro Lúcio de Rezende

**Instituto de Laticínios Cândido Tostes**

Claudio Furtado Soares

**Instituto Técnico de Agropecuária e Cooperativismo**

Luci Maria Lopes Lobato e Francisco Olavo Coutinho da Costa

**EPAMIG Sul**

Rogério Antônio Silva e Marcelo Pimenta Freire

**EPAMIG Norte**

Polyanna Mara de Oliveira e Josimar dos Santos Araújo

**EPAMIG Sudeste**

Marcelo de Freitas Ribeiro e Adriano de Castro Antônio

**EPAMIG Centro-Oeste**

Marinalva Woods Pedrosa e Waldênia Almeida Lapa Diniz

**EPAMIG Oeste**

Daniel Angelucci de Amorim e Irenilda de Almeida

# Recursos hídricos: responsabilidade de todos

A despeito do fato de 75% de toda superfície terrestre ser coberta por água, este recurso é de uso limitado, pois apenas 2,5%, que equivale a 35 milhões de km<sup>3</sup>, são considerados de água doce. Em todo o mundo, a contaminação por poluentes agrícolas, urbanos e industriais e a falta de planejamento do uso e da ocupação do solo são as principais causas de deterioração dos recursos hídricos.

O território brasileiro contém cerca de 12% de toda a água doce do Planeta. Ao todo, são 200 mil microbacias espalhadas em 12 regiões hidrográficas. É um enorme potencial hídrico, mas o Brasil apresenta crescente demanda por água, desencadeada pelo crescimento populacional, ocupação urbana, adensamento populacional e também pela demanda por alimentos. Apesar da abundância, os recursos hídricos brasileiros não são inesgotáveis. O acesso à água não é igual para todos. As características geográficas de cada região e as mudanças de vazão dos rios afetam a distribuição desse recurso natural.

A preocupação crescente com a degradação dos recursos naturais e com a sustentabilidade da agricultura tem exigido esforços no desenvolvimento de estratégias e práticas adequadas. Por isso, é de fundamental importância a divulgação dos avanços nos conhecimentos e tecnologias voltados para o uso racional e eficiente dos recursos hídricos.

A EPAMIG, as Secretarias de Agricultura, Pecuária e Abastecimento e de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais e seus diversos órgãos e várias instituições brasileiras têm buscado soluções para melhor gestão dos recursos hídricos. Dentre essas tecnologias destacam-se programas e ferramentas como Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) e o Cadastro Ambiental Rural (CAR), bem como sistemas capazes de auxiliar na recomposição de biomas devastados por rompimento de barragens e estratégias e técnicas de irrigação que visam à eficiência no uso da água.

Diante do cenário atual vivido em todo o País, especialmente em Minas Gerais, esta edição do Informe Agropecuário tem como objetivo desenvolver uma gestão sustentável dos recursos hídricos por meio de conhecimento e de tecnologias que possam atender a demandas atuais e futuras.

Trazilbo José de Paula Júnior  
Presidência da EPAMIG  
(Em exercício)



# Pesquisa e tecnologia são fundamentais para a gestão dos recursos hídricos



*Marília Carvalho de Melo, diretora-geral do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), possui graduação em Engenharia Civil, pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); especialização em Gestão com ênfase em Negócios, pela Fundação Dom Cabral; Mestrado em Saneamento, Recursos Hídricos e Meio Ambiente e Doutorado em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É também professora e coordenadora do Mestrado da Universidade Vale do Rio Verde, de Três Corações, e professora da Escola de Engenharia Kennedy. É autora de diversos trabalhos nas áreas de saneamento, gestão ambiental, recursos hídricos, hidrologia, hidráulica e gestão pública.*

**IA** - *Quais fatores contribuíram para que o estado de Minas Gerais tenha hoje uma das mais completas redes de monitoramento das águas dos seus corpos hídricos?*

**Marília Carvalho de Melo** - A implantação do Projeto Águas de Minas, em 1997, representou um marco para dotar a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) de informações sobre o estado de preservação e das necessidades de melhorias das condições ambientais de Minas Gerais. O Projeto iniciou-se na Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), em 1997, e, após a criação do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), foi absorvido como competência do órgão gestor. O monitoramento da qualidade das águas é uma das atividades mais estratégicas do Igam. Com os dados apurados podemos identificar quais são as principais fontes de degradação de uma bacia hidrográfica, propor ações de melhoria e avaliar o desempenho das propostas na alteração da qualidade das águas. Assim, os 22 anos de

operação da rede de monitoramento vêm demonstrando a sua importância no fornecimento de informações básicas necessárias para a definição de estratégias e da própria avaliação da efetividade do Sistema de Controle Ambiental, sob responsabilidade do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema), e para o Planejamento e Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, subsidiando a atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH). Desde 1997 até a presente data, a rede foi ampliada de 197 pontos para 620, abrangendo mais regiões no Estado e seguindo as diretrizes da comunidade europeia para densidade de rede de um ponto a cada 1.000 km<sup>2</sup>. Além disso, ao longo desse período, ampliamos indicadores de avaliação que inicialmente eram apenas o Índice de Qualidade das Águas (IQA), como indicador de matéria orgânica (MO), e Contaminação por Tóxicos (CT), como indicador de efluentes industriais. Atualmente, avaliamos o Índice de Estado Trófico, que é um indicador da suscetibilidade à eutrofização, especialmen-

te pelo aporte de nutrientes nos corpos d'água, e, onde são verificados trechos suscetíveis à eutrofização, é realizada a análise Densidade de Cianobactérias. Também foram incluídos os ensaios de ecotoxicidade, visando aprimorar as informações referentes à toxicidade causada pelos lançamentos de substâncias tóxicas nos corpos d'água e o índice biótico BMWP, que expressa os limites de tolerância à poluição orgânica para a maioria das famílias de macroinvertebrados bentônicos, refletindo, assim, a qualidade ecológica da água. Além desses índices, a avaliação dos dados foi continuamente aprimorada, com a introdução da espacialização dos dados em cada ponto de coleta, em cada Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), com a avaliação do Panorama de Violações da Qualidade das Águas. Esse Programa consiste na avaliação de cada estação de amostragem e do cumprimento da Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental/ Conselho Estadual de Recursos Hídricos (COPAM/CERH-MG 01/08), por meio



da avaliação dos resultados de três grupos de parâmetros: enriquecimento orgânico, contaminação fecal e contaminação por substâncias tóxicas. Em seu último resumo executivo, publicado em 2018, o Igam apresentou, também, o estudo estatístico de suas estações, para avaliar a tendência de melhora ou piora da condição de qualidade das águas em relação ao IQA. Estudos como esses apoiam na avaliação da efetividade de políticas públicas que influem diretamente na qualidade das águas, como o saneamento ambiental nas bacias hidrográficas. Destaca-se também a preocupação do Estado em manter as ações do monitoramento sempre alinhadas com as diretrizes do Programa Nacional da Qualidade das Águas (PNQA) e, mais recentemente em 2014, a inserção da rede do Estado no Programa Qualidade das Águas da Agência Nacional de Águas (ANA), inclusive com aporte de recursos financeiros para aprimoramento da rede. Esse Programa visa ao fortalecimento institucional e à gestão sistemática dos recursos hídricos, promovendo a divulgação de dados sobre a qualidade das águas superficiais no Estado e no Brasil, bem como a implementação da Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA).

**IA - Investimentos e parcerias estão entre estes fatores?**

**Marília Carvalho de Melo** - O custo do monitoramento é realizado por meio do Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas de Minas Gerais (Fhidro), desde 2009, com um investimento de cerca de 3,5 milhões, em 2018. Esses recursos são fundamentais, uma vez que o que garante um monitoramento efetivo é a manutenção de uma série histórica que permita a avaliação ao longo do tempo. Um ponto de evidência é a manutenção de um corpo técnico capacitado, que atua na condução do Programa de Monitoramento,

bem como a constante preocupação na contratação de laboratórios com experiência no campo ambiental, com as devidas creditações para execução dos serviços de coletas e análises. Vários esforços vêm sendo feitos para implantar, operar e aprimorar, inclusive tecnologicamente, a rede de monitoramento de águas no estado de Minas Gerais, seja por meio de rede própria, seja por meio de Acordos de Cooperação Técnica. Nesse sentido, esses Acordos firmados possibilitaram a criação da Sala de Situação, desde 2013, instalada nas dependências do Igam, sendo um dos objetivos desenvolver ações conjuntas referentes à integração e à modernização das redes hidrometeorológicas situadas em Minas Gerais. A iniciativa é de grande importância, uma vez que promove: fortalecimento do órgão gestor de recursos hídricos estadual, com vistas para atuação na área de monitoramento hidrometeorológico; integração e modernização das redes hidrometeorológicas; intercâmbio de dados e de informações sobre os recursos hídricos no estado de Minas Gerais; cooperação na implantação de sistema de previsão de eventos hidrológicos críticos; desenvolvimento de ações destinadas a prevenir e/ou minimizar eventos de secas e de inundações. Neste sentido, buscamos integrar a rede de qualidade das águas com o monitoramento fluviométrico, para que se tenham, nos pontos de monitoramento, dados de vazão e de qualidade das águas, ampliando a capacidade de avaliações integradas qualitativas. Para o Igam, é de grande importância uma rede de monitoramento operacional, bem especializada e em quantidade suficiente, para que seja possível auxiliar na tomada de decisão para o gerenciamento dos recursos hídricos do estado de Minas Gerais. A rede de monitoramento não é apenas um instrumento do Sisema, mas de todas as políticas públicas que se relacionam com as águas. No caso da agricultura, os resul-

tados podem auxiliar os produtores rurais na avaliação da água que utilizam, se tem qualidade compatível com a cultura que será irrigada. Outro exemplo de integração é que o monitoramento também pode ser usado como indicador de avaliação de desempenho do grande trabalho que o sistema de agricultura de Minas Gerais tem feito para apoiar a regularização ambiental das propriedades rurais, bem como a aplicação do Zoneamento Ambiental produtivo em bacias hidrográficas.

**IA - Como os desastres ocorridos em Mariana e depois em Brumadinho modificaram a forma de gerenciamento das águas nas regiões atingidas? Como o Igam tem-se posicionado para gerar informações seguras sobre os recursos hídricos para a sociedade, em especial para as populações dessas áreas afetadas?**

**Marília Carvalho de Melo** - Após o rompimento das Barragens de Mariana e de Brumadinho, o Igam deu início ao monitoramento diário, com avaliação dos parâmetros pertinentes à constituição do rejeito que impactou as duas bacias hidrográficas. Em ambos os casos, o objetivo é manter a população informada sobre as alterações na qualidade das águas e, junto com outros órgãos da administração pública, avaliar as medidas cabíveis para proteção da população que utiliza essa água. O monitoramento é também a base para avaliar o impacto decorrente dos desastres e apoio para tomada de decisões na recuperação das bacias hidrográficas atingidas. Em Mariana, o monitoramento, que ainda é realizado pelo Igam, mensura a efetividade das ações de recuperação propostas pelo sistema Comitê Interfederativo (CIF) e executada pela Renova. Além disso, o Igam integra a Câmara Técnica de Segurança Hídrica e Qualidade das Águas do CIF. Em maio de 2018, este Instituto assumiu a Coordenação



desta Câmara Técnica e vem atuando na definição de ações para esgotamento sanitário, destinação de resíduos e abastecimento público dos 40 municípios impactados na Bacia do Rio Doce, ações que estão ligadas ao atendimento de sete cláusulas do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC). No caso recente do Desastre da Vale em Brumadinho, estamos atuando ainda na fase da avaliação do dano causado. Neste caso, estamos trabalhando de maneira integrada com outras instituições no monitoramento, ANA, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa-MG). Estabelecemos uma rede integrada de monitoramento que abrange o local do rompimento até o Reservatório de Três Marias. Nos primeiros 45 dias, fizemos o monitoramento diário em 11 pontos da calha do Rio Paraopeba e desde o dia 11/3/2019, alteramos a periodicidade. Todos os dados gerados de água e sedimento são analisados e publicados nos informativos do Igam para dar total transparência das informações geradas, riscos e impactos. Foi ainda com base nesses dados que o governo de Minas, por meio das Secretarias de Saúde, de Agricultura, Pecuária e Abastecimento e de Meio Ambiente, recomendou a suspensão da utilização de água bruta do Rio Paraopeba, inicialmente até Pará de Minas e, em um segundo momento, até Pompéu. Dessa forma, com base no monitoramento, o Estado e órgãos de controle têm subsídio para determinar medidas para mitigar o impacto causado à população afetada, bem como compensações, especialmente aos produtores rurais que dependem da água para produção.

**IA** - *A escassez hídrica verificada recentemente, não só nas regiões Semiáridas, mas também em outras partes do Brasil, mudou a percepção da população e dos*

*governos com relação aos recursos hídricos?*

**Marília Carvalho de Melo** - O CERH regulamentou por deliberação os critérios de escassez hídrica e o Igam publica portarias de restrição, quando a condição de escassez ocorre nas bacias hidrográficas. Com o advento da crise hídrica, a curva de crescimento desse uso se pronunciou. A população passou a ver a água subterrânea como a garantia para o atendimento às suas demandas em diferentes níveis de necessidade e, na grande maioria, a construção de poços dá-se fora dos preceitos estabelecidos pela política de recursos hídricos

“

Vários estudos já demonstram as grandes vantagens da utilização de reuso de efluente doméstico tratado para irrigação, seja do ponto de vista dos recursos hídricos, seja no aproveitamento de nutrientes presentes nos efluentes.

”

e normas vigentes. A crise hídrica chamou a atenção para uma análise integrada das águas superficiais e subterrâneas no Estado, inclusive com o aprimoramento e o monitoramento desta última. Assim, o Estado vem investindo no conhecimento dos seus recursos hídricos subterrâneos ao longo do tempo, com a implantação de redes de monitoramento de qualidade das águas, iniciadas no

norte do Estado, em 2005, e paulatinamente ampliada em 2017/2018 com cerca de 120 pontos de monitoramento, além de implementar também o monitoramento quantitativo, com a absorção da rede de monitoramento integrada de recursos hídricos do Projeto Águas do Norte de Minas, finalizado em 2018. Esse projeto foi realizado em parceria com a CPRM, contribuiu com a ampliação do conhecimento hidrogeológico do Estado e melhoria da gestão dos recursos hídricos. Precisamos mudar nossa relação com a água, que, até então, tem sido usada em uma cultura de abundância, uma vez que grande parte do nosso Estado é de fato privilegiado com uma disponibilidade hídrica confortável. Entretanto, a dinâmica de mudança do clima tem gerado um novo cenário aumentando as incertezas nessa disponibilidade que, historicamente, o Estado teve. Precisamos incentivar a racionalização do uso, com apoio de tecnologias adequadas. Outro ponto importante, especialmente no setor agrícola, é o fomento ao reúso na irrigação. Vários estudos já demonstram as grandes vantagens da utilização de reuso de efluente doméstico tratado para irrigação, seja do ponto de vista dos recursos hídricos, seja no aproveitamento de nutrientes presentes nos efluentes.

**IA** - *O Igam destacou-se pela inovação do cadastro on-line do uso insig-nificante de recursos hídricos. Existe previsão de novidades com relação à melhoria dos processos de obtenção de outorgas em Minas Gerais?*

**Marília Carvalho de Melo** - Sim. Estamos buscando fortemente aprimorar a Tecnologia de Informação (TI) nos processos internos. Para outorga de direito de uso de recursos hídricos está em desenvolvimento um módulo denominado Sistema de Outorga (Sout), que viabilizará a solicitação de outorgas via web. Em paralelo, está sendo desenvolvido





o módulo de análise de processos de outorga do Sout, que propiciará maior celeridade nas análises dos processos, trazendo novas ferramentas de TI para o analista ambiental e garantindo maior segurança ao Banco de Dados de Outorga. Outro destaque em inovação para outorga é o estudo que estamos desenvolvendo junto à ANA e à UFMG, que resultará no aprimoramento do estudo de regionalização de vazões do Estado. A regionalização de vazão que hoje utilizamos, nos propicia realizar apenas a análise da disponibilidade em base anual. Em período de chuva temos mais águas disponíveis e, portanto, a disponibilidade é maior. O trabalho da UFMG resultará no novo estudo de regionalização de vazões de base mensal para todo o Estado e será a base para implementarmos, em 2020, a outorga sazonal. Isso será um grande avanço, especialmente para o setor de agricultura, pois aumentaremos a disponibilidade neste período de chuvas.

**IA - Como vem sendo aplicado o processo de fiscalização das outorgas das águas superficiais e subterrâneas em Minas?**

**Marília Carvalho de Melo** - A fiscalização dos recursos hídricos é realizada pela Semad, por meio da Subsecretaria de Fiscalização Ambiental, das Diretorias Regionais de Fiscalização e pela Polícia Ambiental. A Semad elabora, anualmente, o Plano Anual de Fiscalização Ambiental (PAF), para o estado de Minas Gerais. Esse Plano tem por objetivo definir uma agenda de fiscalização e organizar as ações com foco nos principais problemas ambientais. Considerando o cenário de crise hídrica enfrentado em Minas Gerais, desde 2015, os planos de fiscalização têm priorizado ações dos usos e intervenções de recursos hídricos. A definição das áreas a ser fiscalizadas leva em consideração as outorgas emitidas, imagens de satélite, as demandas dos órgãos de controle,

das concessionárias de abastecimento municipais, além de denúncias da própria população. O PAF abrange a realização de Operações de Fiscalização Preventivas, com foco na disseminação do conhecimento e na conscientização ambiental, as quais serão executadas em projetos específicos e durante semanas especiais como a Semana da Água, a Semana Florestal, dentre outras. Outro ponto de destaque é o Programa de Fiscalização Preventiva que inicialmente foi realizado com a Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (Fiemg), para o setor industrial. Precisamos atuar fortemente na orientação e apoio à regularização e é este ponto que a Semad tem reforçado.

**IA - A geração de conhecimentos e o desenvolvimento, adaptação e adoção de novas tecnologias e inovações podem influenciar na forma de manejarmos as águas em nosso Estado?**

**Marília Carvalho de Melo** - Com certeza. Solução para a gestão de um recurso que é limitado e tem uma demanda crescente só pode ser pela pesquisa e aprimoramento tecnológico. Antes mesmo de pensar em novas tecnologias, precisamos dar acesso aos usuários de água, sejam estes domésticos, produtores rurais ou indústrias, às tecnologias existentes. Temos vários exemplos disso, como para o usuário doméstico fomentar o aproveitamento de águas pluviais no uso não potável, ou utilização de equipamentos, com controle de vazão, os quais diminuem a quantidade de água utilizada. Mas é claro que precisamos também pensar em novas tecnologias. Existem várias Startups no Brasil e no mundo pensando nisso. Destaca-se na agricultura o uso de sensores para identificar a umidade ótima da cultura, gerando eficiência de uso de água e energia. Além do reúso, como uma tecnologia a ser aprimorada e aplicada em bacias hidrográficas.

Temos, aqui no Igam, nos aproximado muito das Universidades. Muito conhecimento é desenvolvido e pode nos apoiar e auxiliar em problemas cotidianos das políticas públicas que, muitas vezes, nem conhecemos. Por esse motivo criamos a revista científica do Igam, Revista Mineira de Recursos Hídricos. Nosso objetivo é o de esta Revista ser um instrumento de integração da ciência e da política pública das águas. Teremos publicações de artigos de pesquisas e poderemos ampliar a parceria para a aplicação prática desse conhecimento.

**IA - Qual a sua opinião com relação à atuação da EPAMIG no desenvolvimento de tecnologias para a sociedade mineira frente aos desafios na gestão dos recursos hídricos no meio rural?**

**Marília Carvalho de Melo** - Acompanho o trabalho da EPAMIG. Sua atuação no desenvolvimento de pesquisa e tecnologia é fundamental para a gestão ambiental e das águas. O desenvolvimento das metodologias do Zoneamento Ambiental Produtivo e dos Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), para adequação ambiental das propriedades rurais é um exemplo incrível do trabalho integrado nas bacias, especialmente com vistas à produção rural sustentável. Precisamos reforçar a pesquisa na EPAMIG. Sabemos que a irrigação é responsável pela utilização de, aproximadamente, 60% da água, mas também temos a clara evidência de sua importância para a segurança alimentar e desenvolvimento do nosso Estado. Temos que reforçar técnicas e tecnologia de uso eficiente, reúso para a gestão sustentável das águas e fomento à produção agrícola em Minas e, nesse cenário, a EPAMIG tem um papel central.

■ Por Vânia Lacerda



# EPAMIG Empório

Vitrine de Tecnologias



O espaço **EPAMIG Empório** tem a proposta de aproximar colaboradores, visitantes e a sociedade das tecnologias produzidas pela Empresa. No **EPAMIG Empório** estas tecnologias estão disponibilizadas na forma de produtos para aquisição, demonstração e difusão de informações.



**EPAMIG Empório - Vitrine de Tecnologias**

Avenida José Cândido da Silveira, 1647

União - CEP 31170-495 - Belo Horizonte - MG

Tel.: (31) 3489-5000 - [www.epamig.br](http://www.epamig.br)

**EPAMIG Empório - Cândido Tostes**

Rua Tenente Luiz de Freitas, 116

B. Santa Terezinha - CEP 36045-560 - Juiz de Fora - MG

Tel.: (32) 3225-5852 - [epamigilct@epamig.br](mailto:epamigilct@epamig.br)



## Conheça os produtos com **TECNOLOGIA EPAMIG**

### Queijos

Os produtos têm a qualidade e tradição do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, referência na América Latina.



### Cafés de Qualidade

Café 100% Arábica, constituído como um blend de variedades nas versões Séries Ouro e Bronze.

### Vinhos e Espumantes

As pesquisas da EPAMIG propiciaram um grande avanço no cultivo de uvas e na fabricação de sucos, vinhos finos e espumantes de qualidade com terroir mineiro.



### Azeite Extravirgem

O azeite EPAMIG, primeiro tipo extravirgem produzido no Brasil, tem-se destacado em eventos nacionais e internacionais de gastronomia e atraído a atenção de chefs e apreciadores.



### Publicações

A EPAMIG divulga ao público as tecnologias geradas pelas pesquisas por meio de publicações técnicas, com destaque para o **Informe Agropecuário**, uma das principais revistas do gênero no país.



INFORME  
AGROPECUARIO



INFORME  
AGROPECUARIO

# Avanços na gestão de recursos hídricos e ambientais no meio rural

*Fúlvio Rodriguez Simão<sup>1</sup>, João Batista Ribeiro da Silva Reis<sup>2</sup>, Renato Pereira Claus<sup>3</sup>, André Martius Santos Almeida Cruz<sup>4</sup>, Thayná Guimarães Silva<sup>5</sup>, Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>6</sup>*

**Resumo** - Crescentes demandas por um uso sustentável da água e do meio ambiente têm incentivado avanços voltados à gestão destes recursos, em especial no meio rural. Aspectos inovadores relacionados com a gestão dos recursos hídricos e ambientais são de grande relevância, tais como: a melhoria da eficiência no uso da água na agricultura; os elementos de economia ambiental aplicáveis à gestão de recursos hídricos e avaliação econômica da eficiência no uso de água; a aplicação de ferramentas institucionais aplicáveis à gestão ambiental no meio rural, incluindo proposta de recuperação ambiental incentivada pelo Cadastro Ambiental Rural; a reutilização de efluentes na agropecuária, dentre outros. É de fundamental importância a divulgação dos avanços nos conhecimentos e tecnologias voltados para o uso racional e eficiente dos recursos hídricos e ambientais.

**Palavras-chave:** Gestão ambiental. Meio Ambiente. Uso eficiente de água. Conservação da água. Tratamento. Água residual.

## Advances in water and environmental resources management in the rural environment

**Abstract** - The growing demands for a sustainable water use and environmental resources management have encouraged advances in its management, especially in rural areas. In this article, we address innovative aspects related to the management of water and environmental resources, such as the improvement of water use efficiency in agriculture; elements of environmental economics applicable to water resources management and economic evaluation of water use efficiency, application of institutional tools developed support environmental management in the rural environment including a environmental recovery proposal encouraged by the Rural Environmental Registry; reuse of effluents in agriculture, among others. It is essential to disseminate the advances in knowledge and technologies aimed at the rational and efficient use of water resources, as described in this paper.

**Keywords:** Environmental management. Environment. Water use efficiency. Water conservation. Treatment. Wastewater.

### INTRODUÇÃO

Para retratar a gestão de recursos hídricos e ambientais no meio rural, a primeira abordagem que se deve ressaltar é a sustentabilidade. No entanto, quatro pilares oriundos deste tema foram muito bem definidos no ano de 1973, na Confe-

rência de Estocolmo, na Suécia, os quais são (TEIXEIRA, 2012):

- a) evitar o crescimento populacional;
- b) controlar o crescimento industrial;
- c) produzir alimentos para todos os povos;
- d) impedir o esgotamento dos recursos naturais.

Entretanto, estas quatro ações não têm sido cumpridas a contento na atualidade. Isto provoca desequilíbrio em vários níveis, mas um destes, de extrema importância e em potencial, tem-se agravado, ou seja, os vários mecanismos que determinam o ciclo hidrológico da natureza que acerca todos os setores: urbano, industrial e agrícola.

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EPAMIG Sede/Bolsista FAPEMIG, Belo Horizonte, MG, fulvio@epamig.br

<sup>2</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte/Bolsista FAPEMIG, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br

<sup>3</sup>Economista, M.Sc., Gestor Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, MG, rpclaus@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Eng. Agrícola, Gerente EPAMIG Sul-CELB, Lambari, MG, andre.martius@epamig.br

<sup>5</sup>Graduanda Engenharia Ambiental e Sanitária/Bolsista BIC FAPEMIG/EPAMIG, Belo Horizonte, MG, thaynaguimaraessilva@gmail.com

<sup>6</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D., Embrapa Tabuleiros Costeiros/Bolsista CNPq, Aracaju, SE, heriberto.teixeira@embrapa.br



Neste artigo, serão abordados aspectos inovadores relacionados com a gestão dos recursos hídricos e ambientais, destacando-se a melhoria da eficiência no uso da água na agricultura, os elementos de economia ambiental aplicáveis à gestão de recursos hídricos e avaliação econômica da eficiência no uso de água, a aplicação de ferramentas institucionais aplicáveis à gestão ambiental no meio rural, como o Cadastro Ambiental Rural/Programa de Regularização Ambiental (CAR/PRA), Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) e o Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP), os quais implicam na melhoria do manejo de recursos hídricos, na proposta de recuperação ambiental atrelada ao CAR, na reutilização de efluentes na agropecuária, dentre outros, resultando em um padrão adequado de sustentabilidade. Essas inovações têm sua aplicação incentivada pelos grandes desafios apresentados pela necessidade de uma melhor gestão dos recursos hídricos na atualidade.

O Brasil apresenta crescente demanda por água, desencadeada pelo crescimento populacional, ocupação urbana, adensamento populacional e também pela demanda por alimentos. Observam-se regiões que antes tinham plena disponibilidade hídrica e passaram a ter intenções de uso além da disponibilidade (SIMÃO; ANTUNES, 2015). Considerando um cenário de escassez hídrica, é essencial o adequado manejo de práticas agropastoris, que envolvam técnicas de irrigação e atividades na pecuária.

A alocação de água consiste no processo de tomada de decisão no gerenciamento de recursos hídricos. Este processo incorpora as regras e os procedimentos por meio dos quais a distribuição da água é decidida para uso individual ou coletivo, em relação à sua disponibilidade (ROA-GARCÍA, 2014). É um processo que, em muitas vezes, tende a ser marcado por conflitos em virtude da escassez do próprio recurso ou mesmo por assimetrias entre demanda e oferta hídrica. A alocação negociada visa discutir as especificidades ocasionadas com a elevada variabilidade climática interanual, quando

são discutidos junto aos atores locais e representantes das instituições do poder público.

Assim, é de fundamental importância a divulgação dos avanços nos conhecimentos e tecnologias voltados para o uso racional e eficiente dos recursos hídricos.

### **ELEMENTOS DE ECONOMIA AMBIENTAL APLICÁVEIS À GESTÃO E À EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Ao observar a recente história do Brasil, torna-se evidente que o desenvolvimento da sociedade moderna está fundamentado em alicerces frágeis, por não creditar a devida importância à manutenção do ambiente natural. Neste contexto, as teorias econômicas que se estabeleceram na regência da economia global devem-se alinhar com os preceitos ambientais para a perpetuação das futuras gerações.

A teoria econômica contemporânea, definida como ciência social, que estuda a alocação de recursos escassos entre usos alternativos e fins competitivos, foi formulada por meio das contribuições de diversos pensadores. Nesse período da história social humana, os recursos ambientais eram considerados abundantes e infinitos de acordo com as necessidades humanas e a tecnologia disponível na época. A sociedade e o governo não tinham a preocupação e a consciência necessária sobre a utilização desses recursos disponíveis. Assim, os pensadores econômicos acreditavam que deveriam buscar, prioritariamente, o conforto e a segurança da sociedade, para tanto deveriam dominar e utilizar todas as forças e matérias disponíveis na natureza em função do bem-estar humano.

O meio ambiente, por anos, suportou o crescimento populacional e a evolução das tecnologias, e os limites de absorção e recuperação por parte da natureza não haviam sido transpostos. Por estes motivos, o meio ambiente era considerado como fonte inesgotável de recursos, os quais eram destinados a suprir todas as necessidades da humanidade, sendo também

explorado com a função de receptor de resíduos com capacidade inesgotável de absorção. De acordo com Santos (2006), no pensamento da economia tradicional, não há limites ambientais para o crescimento econômico, pois sequer se questionava sobre a “capacidade de carga” do Planeta (pegada ecológica).

Com o crescimento exponencial da população mundial veio o aumento das necessidades e vontades, para suprir a crescente demanda populacional e os interesses econômicos ocultos, visto que o processo produtivo da época passou por mudanças. A Revolução Industrial alterou totalmente os processos de produtos vigentes, aumentando a escala de produção e a qualidade dos bens comercializados. Consequentemente, ampliou-se a necessidade de matéria-prima e de recursos naturais, por causa da maior necessidade de descarte de materiais do processo produtivo e dos bens consumidos já sem utilidade.

O rápido avanço tecnológico que iniciou áureos tempos com a Revolução Industrial tem pagado um alto preço ao ambiente natural. (CALLAN; THOMAS, 2010).

Atualmente, os recursos hídricos por estarem presentes em grande parte dos processos produtivos, tanto no meio urbano, quanto no rural, merecem uma atenção especial. A economia, ao integrar esse pensamento ambiental, deve considerar as ciências naturais, como a ecologia, química e a física, para obter uma melhor alocação e utilização eficiente dos recursos hídricos. Esse pensamento passa pela minimização na utilização e, quando não for possível, visa à reutilização e o descarte adequado, aproveitando os nutrientes e resíduos necessários em um processo contínuo.

Segundo Carrera-Fernandes e Garrido (2002), os recursos hídricos possuem várias finalidades, tais como: abastecimento humano; dessedentação animal; absorvente de calor; agente de limpeza; elemento de transmissão mecânica; elemento para a produção de vapor; matéria-prima; meio de transporte; processamento de materiais; sol-



vente; uso doméstico e em fábrica; veículo de despejo de efluentes líquidos; agricultura irrigada; geração de energia elétrica; pesca; piscicultura e aquicultura; navegação; lançamento, diluição e transporte de efluentes; esporte, lazer e demandas ecológicas. É inquestionável, portanto, a utilidade que a água tem para o homem e, diante de uma situação de uso constante do recurso hídrico e sua possível escassez, faz-se necessário gestão para seu melhor aproveitamento, reduzindo as externalidades negativas e potencializando as positivas.

Outro pensador que se dedicou ao estudo da melhor alocação dos recursos naturais foi Coase (apud PINDYCK; RUBINFELD, 1994). Conforme o Teorema de Coase, o problema a ser debatido seria o da ausência de direitos de propriedade dos recursos naturais. As instituições e pessoas pressupõem que têm os mesmos direitos em utilizar o meio ambiente para obtenção de recursos, local de descartes e de lazer, mas essas questões às vezes não são bem delimitadas, não ficando esclarecido quanto cada um tem o direito de utilizar.

Para Coase (apud PINDYCK; RUBINFELD, 1994), os direitos de propriedade são altamente importantes para funcionamento dos mercados, podendo o proprietário ter reivindicações válidas sobre o uso e a transferência do bem ou recurso. Ronald Coase atribuiu aos direitos de propriedade uma solução eficiente mesmo na presença de externalidades negativas. No caso da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Federal nº 9.433, de 8/1/1997 (BRASIL, 1997), que é considerada uma das mais avançadas do mundo, o domínio dos recursos hídricos no Brasil é atribuído aos Estados e à União, entretanto, tem-se como um dos instrumentos da PNRH, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, que pode cumprir o papel dos direitos de propriedade na regulação do uso da água, conforme defendido por Coase.

Diante do *trade-off* sobre a melhor utilização da água alguns pensadores econômicos abordaram o assunto com

uma perspectiva não só econômica. Pigou (apud MAY; LUSTOSA; VINHA, 2003), no início do século 20, observou que, à medida que o meio ambiente recebe uma carga maior de poluentes, a capacidade de o ambiente receber mais poluentes vai-se tornando escassa e isso deve ser monitorado e economizado. Assim, Pigou elaborou um estudo no qual lidava com as externalidades negativas das empresas. Tal estudo propunha a cobrança de um tributo, pelo Estado, o qual pretendia internalizar ao processo produtivo os valores dos custos sociais advindos de sua atividade econômica. Portanto, a equação de custos das empresas é representada como:

$$\text{Custo total} = \text{CmP} + \text{CmS} \quad (1)$$

em que:

CmP = Custo marginal privado;

CmS = Custo marginal social.

A modificação da curva de custo da oferta em função da receita e da introdução do conceito de custo marginal social pode ser observada no Gráfico 1.

A maior motivação para a cobrança do tributo seria induzir as empresas a internalizar suas externalidades, colocando os custos sociais nas decisões sobre a produção. Um modo de fazê-lo é impor uma taxa unitária no produto que gera a poluição (ou utilização/degradação do recurso ambiental) igual ao seu custo marginal social.

Portanto, a precificação relacionada com a utilização do recurso ambiental (ou

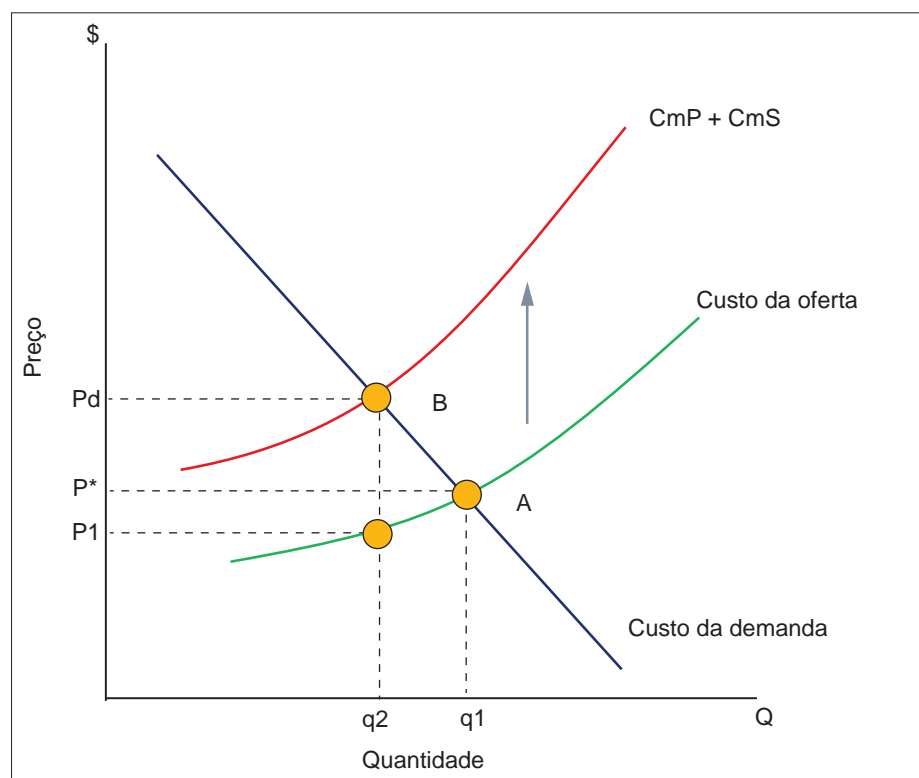


Gráfico 1 - Equilíbrio entre oferta (curva verde convencional) e demanda (curva azul) no ponto A e novo ponto de equilíbrio (ponto B) pela inclusão do custo marginal social na oferta (curva vermelha)

Fonte: Renato Pereira Claus

Nota: CmP - Custo marginal privado; CmS - Custo marginal social;

P1 = Preço associado à quantidade q2 na curva convencional; Pd = Preço associado à quantidade q2 na curva azul (novo ponto de equilíbrio); P\* = Preço associado à quantidade q1 na curva convencional (ponto de equilíbrio); q1 = Quantidade consumida ao preço P\* (ponto de equilíbrio); q2 = Quantidade consumida ao preço Pd (novo ponto de equilíbrio); q2 é sempre menor que q1 porque Pd é maior que P\*.

a exigência de compensações ambientais que teriam aplicação análoga), no caso específico, do recurso hídrico, é abarcada pela cobrança do uso da água, que também é um dos instrumentos da PNRH. Essa valoração do recurso hídrico tende a promover, em longo prazo, maior eficiência no uso dos recursos hídricos com a adoção da tecnologia necessária para efetivamente atingir o uso eficiente da água.

## USO EFICIENTE DE ÁGUA

Em um contexto mais amplo de gestão da água, há que se ressaltar a importância de buscar o uso cada vez mais eficiente deste escasso recurso natural. Entretanto, um fator limitante para que esta gestão seja ótima é a confusão feita comumente entre os conceitos, envolvendo as diversas formas de avaliar a eficiência hídrica dos sistemas agrícolas, em especial quanto à agricultura irrigada.

Há, portanto, que se diferenciar a eficiência dos sistemas de irrigação (engenharia) e de seus diversos componentes, incluindo o adequado manejo de irrigação (em um sentido restrito relacionado apenas com a aplicação da água no momento e na quantidade adequada).

Também destaca-se que a eficiência da água nos cultivos, mais conhecida como o Uso Eficiente de Água (UEA) de um sistema agrícola (irrigado ou não), pode ser definida de diversas formas, inclusive aplicam-se em escalas que vão desde o nível celular com a determinação da relação entre a quantidade de carbono assimilado e de moléculas de água transpirada por meio da abertura estomática (SIMÃO; RITCHIE; BEDNARZ, 2013), passando pelo uso da água em campos agrícolas (produção por unidade de água definida e suas variantes), conforme descrito por Simão e Antunes (2015) nas equações 2 a 4, até ser expandido para a produtividade da água em larga escala, uma vez que esta é uma medida da eficiência do uso do recurso hídrico em uma determinada região (TEIXEIRA et al., 2015).

$$UEA_T = \frac{Pr}{Tr} \quad (2)$$

em que:

$UEA_T$  = Uso Eficiente de Água com base na transpiração total da planta (kg/ha/mm);

Pr = produtividade (kg/ha)

Tr = transpiração total da planta durante o ciclo (mm).

$$UEA_{ET} = \frac{Pr}{ET} \quad (3)$$

em que:

$UEA_{ET}$  = Uso Eficiente de Água com base na evapotranspiração do solo e da planta (kg/ha/mm) (STILLER; REID; CONSTABLE, 2004);

ET = evapotranspiração do solo e da planta durante o ciclo (mm).

$$UEA_{IRR} = \frac{Pr}{LBA} \quad (4)$$

em que:

$UEA_{IRR}$  = Uso Eficiente de Água com base na irrigação aplicada (kg/ha/mm) (SIMAO, 2013);

LBA = lâmina bruta de irrigação total aplicada (mm).

Eficiência no uso da água pode incluir o conceito econômico referente ao máximo retorno financeiro para determinada unidade do recurso hídrico alocado, conforme preconizado pela Economia da Produção (DOLL; ORAZEN, 1992). Assim, a máxima eficiência física no uso de um insumo (no caso a água) pode ser observada na inflexão da curva que relaciona a produção obtida com a quantidade de água aplicada. Entretanto, para se maximizar o lucro do produtor, deve-se observar a relação entre os lucros obtidos e a água utilizada.

Na área de recursos hídricos, o termo eficiência de uso da água é empregado como sinônimo de eficiência de irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012), exprimindo a

relação entre o volume de água necessário para as plantas e o volume de água captado no corpo hídrico. A diferença pode ser considerada como perda, ou seja, a parcela de água retirada do corpo hídrico que não é aproveitada pelas plantas. As perdas podem ocorrer por vazamentos na distribuição e no armazenamento, evaporação, arraste ou deriva pelo vento, escoamento superficial e percolação profunda. As perdas não expressam necessariamente desperdício de água, pois nenhum equipamento garante 100% de eficiência e não é possível controlar com precisão todas as variáveis em condições de campo (a exemplo do vento).

Parte das perdas pode retornar diretamente aos corpos hídricos. A eficiência de irrigação tem correlação com o método e com o sistema adotado. Mas em condições brasileiras tende a ser mais influenciada pelas práticas locais de operação dos equipamentos e de manejo da água e do solo. A eficiência é comumente afetada por erros nas etapas de planejamento e de implementação da irrigação na propriedade. Moto-bombas mal dimensionadas, equipamentos com baixa qualidade, má ancoragem de bombas e tubulações, entrada de sujeiras nas tubulações durante a montagem, falta de manutenção e instalação diferente do projeto concebido são algumas das falhas mais comuns nessas etapas (TESTEZLAF, 2017).

Independentemente dos conceitos de eficiência adotados, acredita-se que a racionalização da alocação dos recursos hídricos com seu uso eficiente é uma das principais estratégias em favor da preservação dos recursos naturais, do meio ambiente e da sociedade, juntamente com outras ferramentas aplicáveis à gestão hídrica e ambiental no meio rural.

## CAR, ISA E O ZAP FERRAMENTAS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS NO MEIO RURAL

Considerando a grande importância do meio rural, recentemente, foram criadas e institucionalizadas pelos governos diversas



ferramentas aplicáveis à gestão ambiental neste meio, destacando-se:

- a) ISA: Decreto Estadual nº 46.113, de 19/12/2012 (MINAS GERAIS, 2012);
- b) ZAP: Decreto Estadual nº 46.650, de 19/11/2014 (MINAS GERAIS, 2014);
- c) CAR: Decreto Federal nº 7.830, de 17/10/2012 (BRASIL, 2012a).

O ISA é aplicável à gestão de propriedades agrícolas e tem sido um suporte à elaboração de planos de adequação socioeconômica e ambiental dessas áreas.

O ZAP é aplicável ao diagnóstico de sub-bacias hidrográficas, o que possibilita a identificação de áreas de conflito por recursos hídricos e adequação do uso e ocupação do solo.

Durante o CAR os proprietários de áreas agrícolas, dentre outras informações, delimitam os corpos hídricos, as áreas que possuem remanescentes de vegetação nativa, as Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL). Assim, é um indicativo da adequação ou não de determinada propriedade à legislação florestal vigente – Lei Federal nº 12.651, de 25/5/2012 (BRASIL, 2012b) –, que também tem implicações nos recursos hídricos, em especial no que diz respeito à preservação de nascentes e Matas Ciliares (APPs/APPs hídricas).

## **RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E DE RESERVA LEGAL PELO PROGRAMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL**

Além do CAR, o Decreto Federal nº 7.830, de 17/10/2012 (BRASIL, 2012a) instituiu o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (Sicar), responsável pela integração das informações do CAR de todos os entes federativos e o PRA, que é um conjunto de ações ou de iniciativas a ser desenvolvidas por proprietários ou posseiros rurais, com o objetivo de adequar e promover a regularização ambiental. Na prática, o PRA passa a ser executado após uma sequência de dois

módulos consequentes e relacionados com o CAR, que são o próprio módulo CAR e o módulo de análise, no qual os analistas ambientais verificam e, se necessário, solicitam ajustes nos cadastros (por exemplo, os referentes à sobreposição de áreas) de forma que torna possível a realização dos trabalhos de readequação.

Assim, na parte final do CAR, o proprietário rural pode verificar se existe déficit de vegetação referente tanto à RL, quanto às APPs. Por exemplo, no Campo Experimental de Lambari (CELB) da EPAMIG, no Sul de Minas, apesar de ser uma área de boa condição ambiental, vizinha ao Parque Estadual Nova Baden do Instituto Estadual de Florestas (IEF) e com potencial para a produção de mudas de espécies florestais, foi identificada a necessidade de recuperação de APP. Portanto, apesar da legislação estabelecer prazo para a recomposição florestal referente ao CAR/PRA, no caso do CELB, este processo foi favorecido por meio de oportunidade referente à implantação no âmbito do governo de Minas do Programa Plantando o Futuro (PPOF), coordenado em nível estadual pela Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge).

### **Programa Plantando o Futuro e área modelo em Lambari**

O Brasil comprometeu-se a reduzir 43% da emissão de gases de efeito estufa (GEEs) até 2030, assumindo os compromissos de restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares, recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e integrar 5 milhões de hectares em Sistemas Agrosilvipastoris. Assim, o País deverá restaurar e reflorestar o equivalente a 800 mil hectares/ano, em 15 anos. Portanto, ao estado de Minas Gerais compete restaurar e reflorestar cerca de 55 mil hectares/ano, que correspondem a 6,91% da área em questão. Neste contexto, para atender à demanda apresentada, o estado de Minas Gerais propôs-se a efetuar o plantio de 82,6 milhões de árvores/ano, sendo que o PPOF, instituído pelo Decreto Estadual

nº 46.974, de 21/3/2016 (MINAS GERAIS, 2016), tem o objetivo de realizar o plantio de 10 milhões de árvores/ano, atingindo a meta de 12,1% desse total.

A EPAMIG é uma parceira estratégica para o PPOF, desde a elaboração de seu projeto, colaborando com grupo de trabalho instituído pelo Decreto Normativo Estadual nº 298, de 25 de agosto de 2015 (MINAS GERAIS, 2015), também considerando ainda expertise da instituição nas áreas de pesquisa agropecuária e ambiental, bem como em atividades de produção de mudas.

Portanto, a EPAMIG está participando concretamente do PPOF, inicialmente, produzindo 40 mil mudas de espécies nativas no CELB, onde já possuía estrutura disponível, tendo os custos e investimentos dessa produção cobertos pelo Programa. Em um segundo momento, o total da produção de mudas no CELB poderá ser ampliado, apoiando, ainda mais, a concretização dos objetivos propostos pelo PPOF. Assim, o PPOF possibilitou a melhoria da estrutura de produção de mudas de espécies nativas do CELB, conforme é observado na Figura 1.

Dessa forma, estão sendo produzidas mudas das espécies florestais descritas na Tabela 1, que garantiram a diversidade vegetal nas áreas recuperadas, em complemento às espécies regeneradas naturalmente.

Essas 40 mil árvores serão plantadas na área de APP a ser recuperada no próprio CELB, e serão também protegidas por cercamento, financiado pelo PPOF. Após o plantio, ainda haverá manutenção da área, incluindo o manejo da vegetação espontânea e das formigas, preservando as mudas plantadas (pegamento), constituindo, assim, um protótipo de ações intensivas que podem ser adotadas dentro de um PRA.

As recuperações e manutenções das APPs são de grande importância para a gestão dos recursos hídricos, pois, essas áreas, além das funções comuns aos diversos tipos de RL como proteção dos solos e





Fúlvio R. Simão

Figura 1 - Viveiro reformado – Campo Experimental de Lambari (CELB), da EPAMIG  
Nota: No CELB estão sendo produzidas mudas com recursos do Programa Plantando o Futuro (PPOF).

conservação da biodiversidade, podem servir de corredores ecológicos (no caso das APPs de córregos e rios/Matas Ciliares), que também auxiliam de maneira especial na recarga dos aquíferos e na prevenção do assoreamento de corpos hídricos.

Outras ações ainda podem ser implementadas em favor dos recursos hídricos, em especial quanto à redução de lançamentos de efluentes que reduzam a qualidade das águas.

### UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES NA AGROPECUÁRIA

A agricultura brasileira, majoritariamente a irrigada, responsabiliza-se por grande quantidade da água captada nos corpos hídricos do País, como preconizado por Brasil (2006b) e Bertoncini (2008). Também são responsáveis por grandes porcentagens do consumo da água, o uso doméstico e a atividade industrial. O consumo exacerbado pela irrigação e o desperdício são verificados com o uso

Tabela 1 - Espécies de mudas nativas que estão em produção no Campo Experimental de Lambari (CELB) da EPAMIG, com recursos do Programa Plantando o Futuro (PPOF)

Nome comum (nome científico)	Quantidade	Nome comum (nome científico)	Quantidade
Amendoim-bravo ( <i>Pterogyne nitens</i> Tul.)	1.380	Goiaba-vermelha ( <i>Psidium guajava</i> var. vermelha)	1.380
Angico-vermelho ( <i>Parapitadenia rigida</i> (Benth.) Brenan)	1.380	Guarantã ( <i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.)	1.380
Angico-preto-1 ( <i>Anadenanthera peregrina</i> var. falcata)	1.380	Ingá-branco ( <i>Inga laurina</i> )	775
Aroeira ( <i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.)	1.380	Ipê-amarelo ( <i>Tabebuia chrysotricha</i> )	1.380
Aroeira-pimenteira ( <i>Schinus molle</i> )	1.380	Ipê-roxo ( <i>Tabebuia heptaphylla</i> )	1.380
Café-de-bugre ( <i>Cordia ecalyculata</i> )	1.380	Jacarandá-mimoso ( <i>Jacaranda mimosifolia</i> )	1.380
Canafístula ( <i>Peltophorum dubium</i> )	1.380	Jequitibá-rosa ( <i>Cariniana legalis</i> )	25
Cedro ( <i>Cedrela fissilis</i> )	1.380	Monjoleiro ( <i>Senegalia polyphylla</i> [ <i>Acacia polyphylla</i> ])	1.380
Cerejeira-do-rio-grande ( <i>Eugenia involucrata</i> DC.)	600	Pata-vaca-rosa ( <i>Bauhinia variegata</i> )	1.380
Chal-chal ( <i>Allophylus edulis</i> (St.Hil.) Radlk.)	320	Pata-vaca-roxa ( <i>Bauhinia purpurea</i> )	1.380
Dedaleiro ( <i>Lafoensia pacari</i> )	1.380	Paineira ( <i>Ceiba speciosa</i> )	1.380
Embaúba ( <i>Cecropia pachystachya</i> Trec.)	1.380	Pau-viola ( <i>Citharexylum myrianthum</i> )	950
Embaúba-prata ( <i>Cecropia holaleuca</i> )	550	Pitanga ( <i>Eugenia uniflora</i> L.)	1.280
Embaúba-vermelha ( <i>Cecropia glaziovii</i> )	1.380	Sangra-d'água ( <i>Croton urucurana</i> )	1.380
Farinha-seca ( <i>Albizia niopoides</i> [ <i>Albizia hasslerii</i> ])	1.380	Tamanqueiro ( <i>Aegiphila integrifolia</i> [ <i>Aegiphila sellowiana</i> ])	1.380
Fruta-de-sabiá ( <i>Acnistus arborescens</i> )	1.000	Tamboril ( <i>Enterolobium contortisiquum</i> )	1.380
Goiaba-branca ( <i>Psidium guajava</i> var. branca)	1.380	Quantidade Total	40.000

Fonte: Elaboração do autor (André M.S.A. Cruz).



de métodos e de sistemas ineficientes que favorecem grandes perdas de água por evaporação (BERTONCINI, 2008). Há uma tendência progressiva e eficiente do uso de águas residuárias na irrigação, uma vez que esta reduzirá o descarte do efluente em corpos hídricos e diminuirá o uso e a captação de água doce para fins irrigáveis (BECERRA-CASTRO et al., 2015).

Outra atividade que consome volumes consideráveis de água é a pecuária confinada, que gera grande quantidade de resíduos e necessita do recurso hídrico para limpeza de pisos e tubulações de dejetos. Verifica-se, também, no âmbito dessas atividades, a carência ou ausência de tratamento de esgoto e de dejetos na zona rural, que encontram no reúso das águas residuárias uma solução para descarte adequado do efluente gerado e minimização da degradação de mananciais, reafirmando as considerações citadas (BERTONCINI, 2008).

Com a necessidade prática do consumo de água para a irrigação e o tratamento do esgoto rural, bem como do doméstico, são desenvolvidas inúmeras técnicas de reúso de águas residuárias e sua aplicação no campo.

### Reúso de água e tratamento de efluentes

Segundo a Resolução nº 54, de 28/11/2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), existem cinco modalidades de reúso direto de águas para fins não potáveis (BRASIL, 2006a):

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação

de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Para utilização das águas residuárias com fins agrícolas, como proposto na modalidade II, é necessário manter a qualidade dos aspectos físico-químicos e microbiológicos desta água, principalmente quando esta atividade for responsável pela produção de culturas que serão ingeridas cruas (DAMASCENO, 2008). É imprescindível, portanto, um tratamento capaz de assegurar a segurança ambiental e eliminar microrganismos patogênicos e tóxicos, comumente presentes nos resíduos domésticos e rurais.

A contaminação de equipamentos, de corpos hídricos, alimentar e também humana é indesejável, tendo em vista os riscos ambientais e de saúde a que estarão submetidos. Sugere-se o uso de tratamento preliminar, primário, secundário e principalmente terciário, por ter maior nível de qualidade para remoção de patógenos (DAMASCENO, 2008).

### Fertirrigação como técnica de utilização de águas residuárias e efluentes tratados

Segundo Coelho et al. (2010), a fertirrigação é uma técnica que viabiliza o uso de fertilizantes na agricultura irrigada e aumenta sua eficiência. A técnica reduz custos com máquinas e mão de obra, e torna-se uma interessante opção para aplicar fertilizante característico de efluentes doméstico e rural.

Uma das aplicações da fertirrigação é nas pastagens, pois reduzem custos e tempo de trabalho para alimentar o gado, se comparadas com silagens e fenos, que implicariam no uso de máquinas para armazenar, preparar e fornecer aos ani-

mais (GONÇALVES, 2016). Segundo Drumond (2013), a aplicação de água residuária em pastagens, por sistema de irrigação, tem apresentado resultados que mantêm a produtividade na ordem de 8 t de matéria seca (MS) por hectare, por mês, e com a redução de até 85% na aplicação dos fertilizantes químicos. Os principais elementos químicos das águas residuárias são o nitrogênio (N) e o fósforo (P) que, por sua vez, são nutrientes presentes em fertilizantes químicos utilizados na agricultura (DRUMOND, 2013).

Acredita-se que o esgoto doméstico tratado é uma forma sustentável de reúso para a irrigação, assim como os resíduos de dejetos suínos, que se caracterizam como o principal resíduo aplicado na irrigação. Embora o reúso seja sustentável, é evidenciada a necessidade de tratamento prévio, assegurando as normas de saúde pública, sempre que necessário.

Portanto, apesar de o reúso de efluentes ser em potencial ambientalmente benéfico, há que se tomar todos os cuidados, para não causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

### Estudo da estação de tratamento de esgoto – implantação em Felixlândia

Em uma área do Campo Experimental de Felixlândia (CEFX), da EPAMIG, está sendo implantada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) uma área piloto com estação de tratamento de esgoto (ETE), onde há a previsão de reaproveitamento de todo o efluente gerado na aplicação no solo via fertirrigação e via bacia de infiltração. Isto sem poluição dos corpos hídricos, de maneira semelhante ao que acontece em outras partes do mundo, como na Austrália e em Israel. Na área, poderão ser realizadas, ainda, atividades de pesquisa e desenvolvimento, visando o aprimoramento da técnica utilizada.

Caso este modelo de reúso completo de efluentes gerados pela ETE possa ser adotado em maiores escalas no País, há o



potencial de grande melhoria na qualidade das águas brasileiras.

### Uso do lodo de esgoto na agricultura

Segundo Ferreira e Andreoli (1999), o destino final do lodo produzido em estações de tratamento tem-se tornado um dos principais problemas no processo operacional de uma ETE. Uma das alternativas de disposição final do lodo de esgoto é a reciclagem agrícola, na qual este lodo é utilizado como insumo e promove retorno dos nutrientes ao solo, aliando baixo custo e impacto ambiental positivo, se realizado com critérios seguros.

O lodo de esgoto altera as propriedades físicas do solo, é capaz de fornecer nutrientes às plantas e aumenta a capacidade de retenção de água, assim como promove o crescimento de organismos do solo. Estudos também comprovaram o desenvolvimento e a produtividade maior ou igual aos fertilizantes convencionais (QUINTANA; CARMO; MELO, 2011).

Este insumo (lodo) tem sido empregado como fertilizante alternativo, que auxilia os agricultores a elevar a produtividade das lavouras. Constatam-se casos como o da região de Telêmaco Borba, no Paraná, que destinou em torno de 352 t de lodo para uma propriedade no município de Tibagi, o qual utilizará o insumo como fertilizante agrícola. Ou, ainda, como o estado do Espírito Santo, que tem recebido apoio do Banco Mundial para o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), em parceria com a Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan), realizar pesquisas que viabilizem a aplicação do lodo de esgotos sanitários em pomares de abacaxi, frutas vermelhas e lavouras de café e de cana-de-açúcar, em fazendas do governo.

Assim, acredita-se na viabilidade econômica e ambiental do reúso de águas residuárias e do lodo de esgoto para fins agropecuários. Embora esse reúso seja eficaz, é notoriamente importante o moni-

toramento sanitário desses insumos, com tratamento prévio, amostragem e análise.

### OUTROS AVANÇOS NO MANEJO DA ÁGUA NO MEIO RURAL

São alternativas para o manejo ambiental e destino da água o uso de biodigestores, associados ao uso dos efluentes das atividades agrícolas (com destaque aos dejetos de suinocultura); o monitoramento multidisciplinar de reservatórios, com ênfase na adequação da pesca e da piscicultura em tanques-rede e na capacidade dos corpos hídricos, bem como o uso de sistemas de criação de peixes em regime de recirculação de água (uso eficiente de água), incluindo a possibilidade de reaproveitamento desta água. Todos estes avanços beneficiam tanto o meio ambiente como a conservação dos recursos hídricos.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

São grandes as possibilidades de melhorias na eficiência do uso da água e do meio rural. Entretanto, grandes também são os desafios. Portanto, é de especial importância que se dê atenção a uma adequada gestão e aplicação de tecnologias que propiciem o uso sustentável dos recursos hídricos e ambientais.

### AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pelos apoios recebidos por meio do Programa Pesquisador Mineiro (PPM), Bolsas de Incentivo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico e Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Fapemig/EPAMIG; à Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge) pelo apoio recebido por meio do Programa Plantando o Futuro, e a todos os demais colegas e equipe de apoio da EPAMIG, que têm dado suporte às atividades administrativas e de campo, relacionadas com os trabalhos descritos, e às demais instituições fomentadoras e

parceiras que indiretamente tenham participado e apoiado nossos projetos.

### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **A questão da água no Nordeste**. Brasília, 2012. 432p.

BECERRA-CASTRO, C. et al. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environmental International**, v.75, p.117-135, Feb. 2015.

BERTONCINI, E.I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v.1, n.1, p.152-169, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 mar. 2006a.

BRASIL. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 out. 2012a.

BRASIL. Lei nº 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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de



setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 maio 2012b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva**. Brasília, 2006b. 135p. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/gestao/1970-plano-nacional-de-recursos-hidricos-sintese-executiva>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CALLAN, S.J.; THOMAS, J.M. **Environmental economics and management: theory, policy and applications**. 5th ed. Mason, OH: South-Western Cengage Learning, 2010. 540p.

CARRERA-FERNANDES, J.; GARRIDO, R.J. **A economia dos recursos hídricos**. Salvador: UFBA, 2002.

COELHO, E.F. et. al. **Fertirrigação. Informe Agropecuário: Irrigação**, Belo Horizonte, v.31, n.259, p. 58-68,70, nov./dez. 2010.

DAMASCENO, L.M.O. **Fertirrigação com efluente doméstico tratado no cultivo de gerbera com e sem suplementação mineral**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

DOLL, J.P.; ORAZEN, F. **Production economics: theory with applications**. 2nd ed. North Miami Beach, FL: Krieger, 1992. 470p.

DRUMOND, L.C.D. **Irrigação de pastagem**. Viçosa, MG: UFV, 2013. 15p. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/54095959/luis-cesar-dias-drumond-irrigacao-de-pastagem/2>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

FERREIRA, C.A.; ANDREOLI, C.V. **Produção e características dos biossólidos**. In: SANEPAR. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999. p.8-17.

GONÇALVES, J.M. **Fertirrigação com água residuária de agroindústria (ara) em forrageiras: monitoramento de elementos químicos no perfil do solo**. 2016. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de

Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2016.

MAY, P.H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. da (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 318p.

MINAS GERAIS. Decreto nº 46.113, de 19 de dezembro de 2012. Aprova a Metodologia Mineira para Aferição do Desempenho Socioeconômico e Ambiental de Propriedades Rurais. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 20 dez. 2012. Diário do Executivo, p.2.

MINAS GERAIS. Decreto nº 46.650, de 19 de novembro de 2014. Aprova a Metodologia Mineira de Caracterização Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental Produtivo – ZAP – e dá outras providências. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 20 nov. 2014. Diário do Executivo, p.2.

MINAS GERAIS. Decreto nº 46.974, de 21 de março de 2016. Institui o Projeto de Plantio e Recuperação de Nascentes e Áreas Degradadas – “Plantando o Futuro”. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 22 mar. 2016. Diário do Executivo, p.1.

MINAS GERAIS. Decreto Normativo nº 298, de 25 de agosto de 2015. Institui Grupo de Trabalho destinado a elaborar o Programa Estadual de Recuperação de áreas Degradadas. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 26 ago. 2015.

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1994. cap.18: Externalidades e bens públicos.

QUINTANA, N.R.G.; CARMO, M.S. do; MELO, W.J. de. **Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica**. **Nucleus**: revista genética da Fundação Educacional de Ituverava, Ituverava, v.8, n.1, p.183-192, abr. 2011.

ROA-GARCÍA, M.C. **Equity, efficiency and sustainability in water allocation in the Andes: trade-offs in a full world**. **Water Alternatives**, v.7, n.2, p.298-319, June 2014.

SANTOS, M.T.L.F. **A economia perversa: o impacto dos mercados sobre o meio ambiente**. **Prim@ Facie**: Direito, História e Po-

lítica, João Pessoa, v.5, n.9, p.106-125, jul./dez. 2006.

SIMÃO, F.R. **The effects of varying levels of deficit irrigation and episodic drought stress on west Texas cotton cultivars**. 2013. 214f. Tese (Doctor of Philosophy in Plant and Soil Science) – College of Agricultural Sciences and Natural Resources, Texas Tech University, Lubbock, 2013. Disponível em: <<http://repositories.tdl.org/ttu-ir/handle/2346/50661>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SIMÃO, F.R.; ANTUNES, A.J. **Irrigação: manejo eficiente da água na agricultura irrigada em cenários de escassez hídrica. Informe Agropecuário. Estratégias para a convivência com o déficit hídrico**, Belo Horizonte, v.36, n.285, p.20-30, 2015.

SIMÃO, F.R.; RITCHIE, G.L.; BEDNARZ, C.W. **Cotton physiological parameters affected by episodic irrigation interruption**. **Journal of Agricultural Science and Technology A**, v.3, n.6, p.443-454, 2013.

STILLER, W.N.; REID, P.E.; CONSTABLE, G.A. **Maturity and leaf shape as traits influencing cotton cultivar adaptation to dryland conditions**. **Agronomy Journal**, v.96, n.3, p.656-664, May 2004.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. **Balanço de energia e produtividade da água em larga escala: caracterização, modelagem e aplicação no Norte de Minas Gerais**. **Informe Agropecuário. Estratégias para a convivência com o déficit hídrico**, Belo Horizonte, v.36, n.285, p.101-108, 2015.

TEIXEIRA, C.G. **Preservação das nascentes: o pagamento por serviços ambientais ao pequeno ruralista provedor**. Belo Horizonte: Folium, 2012. 236p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: FEAGRI; UNICAMP, 2017. 213p.



# Quantificação de variáveis biofísicas para manejo racional dos recursos hídricos no Norte de Minas Gerais

Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1</sup>, Fúlvio Rodriguez Simão<sup>2</sup>, Janice Freitas Leivas<sup>3</sup>, João Batista Ribeiro da Silva Reis<sup>4</sup>, Gustavo Bayma Siqueira da Silva<sup>5</sup>, Mauro Koji Kobayashi<sup>6</sup>

**Resumo** - Evapotranspiração atual, produção de biomassa e produtividade da água, com base na evapotranspiração atual, foram quantificadas e analisadas sob diferentes condições termo-hídricas com quatro imagens do satélite Landsat 8, no ano de 2015, envolvendo municípios com crescimento agrícola do Norte de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil. Os valores incrementais da produtividade da água, representativos da substituição da vegetação natural por culturas irrigadas foram de 264%, para o ano estudado. Maior uniformidade nos parâmetros hídricos e de vegetação foi verificada no ecossistema vegetação natural, evidenciada pelos menores valores de desvio padrão, quando comparados com aqueles para o ecossistema culturas irrigadas. Os resultados demonstram a viabilidade da união de parâmetros obtidos por sensoriamento remoto e dados agrometeorológicos para monitoramento das variáveis biofísicas nas regiões de mudança de uso da terra nos ambientes semiáridos.

**Palavras-chave:** Agrometeorologia. Evapotranspiração. Produção de biomassa. Sensoriamento remoto.

## Quantification of biophysical variables for the rational water resources management in the North of Minas Gerais

**Abstract** - Actual evapotranspiration, biomass production, and water productivity based on actual evapotranspiration, were quantified with Landsat 8 images under different thermo-hydrological conditions of 2015, involving the counties with agricultural growth in the Northern Minas Gerais State, Southeast Brazil. The incremental water productivity values, representing the consequence of the natural vegetation replacement by irrigated crops were 264% for the studied year. Higher uniformity for the water and vegetation parameters happened in the natural vegetation ecosystem, evidenced by the lower values of standard deviation, when compared with those for the irrigated crops ecosystem. The results demonstrated the suitability of coupling remote sensing parameters and agrometeorological data to monitor biophysical variables in regions with land-use changes in semi-arid environments.

**Keywords:** Agrometeorology. Evapotranspiration. Biomass production. Remote sensing.

### INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas em bacias hidrográficas nas regiões Semiáridas brasileiras revelam crescimento da economia rural. Entretanto, uma das grandes con-

sequências deste desenvolvimento é que outros usuários estarão competindo por água com o setor agropecuário (TEIXEIRA; BASSOI, 2009).

No Semiárido do Norte de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil, as prin-

cipais bacias hidrográficas são as dos Rios São Francisco e Jequitinhonha (incluindo suas sub-bacias). O Projeto Jaíba, com uma área total de 107,6 mil hectares, dos quais 65.800 ha são irrigáveis, com produção de frutas e de cana-de-açúcar, tem como fonte

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros/Bolsista CNPq, Aracaju, SE, heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EPAMIG Sede/Bolsista FAPEMIG, Belo Horizonte, MG, fulvio@epamig.br

<sup>3</sup>Meteorologista, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Territorial, Campinas, SP, janice.leivas@embrapa.br

<sup>4</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte/Bolsista FAPEMIG, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br

<sup>5</sup>Geógrafo, M.Sc., Pesq. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, gustavo.bayma@embrapa.br

<sup>6</sup>Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. UNIMONTES, Janaúba, MG, mauro.koji@unimontes.br



hídrica o Rio São Francisco. O perímetro do Gorutuba tem área total de 11.280 ha e área irrigável de 4.885,95 ha, sendo a fonte hídrica a Barragem do Bico da Pedra, que abastece os municípios de Janaúba, Nova Porteirinha, Porteirinha e Riacho dos Machados (CODEVASF, 2012).

Os perímetros de irrigação fazem do Norte de Minas um importante polo agrícola, como consequência do desenvolvimento de tecnologias de irrigação. Nestes cenários, o uso do sensoriamento remoto por imagens de satélites, para a quantificação dos componentes da produtividade da água (PA), em larga escala, torna-se relevante. Um melhor conhecimento da PA dos diferentes agroecossistemas pode prover informações valiosas para atingir as práticas de conservação dos recursos hídricos sem a perda da produção agrícola. Para atingir este objetivo, fazem-se as quantificações da evapotranspiração atual (ET) e da produção de biomassa (BIO) (TEIXEIRA et al., 2013, 2015b).

A ET é importante por ser essencial para a produção vegetal. Implica no principal uso de recursos hídricos, quando suprida pela irrigação, e o aumento das taxas evapotranspiratórias resulta em menos água disponível para os usos ecológicos e humanos nas bacias hidrográficas. As dificuldades para obtenção da ET em larga escala, por meio de medições de campo, estimularam o uso do sensoriamento remoto por imagens de satélites (PÔÇAS et al., 2013; LEIVAS et al., 2016).

Para determinação da ET em larga escala, o algoritmo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (Safer) foi desenvolvido e validado na região Semiárida do Brasil, por meio de medições simultâneas em campo com quatro torres de balanço de energia e imagens Landsat, envolvendo fortes contrastes de condições termo-hídricas ao longo de vários anos (TEIXEIRA et al., 2008; TEIXEIRA, 2010).

O sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélites, é também uma ferramenta efetiva para a estimativa da BIO em larga escala. O modelo da eficiência

do uso da radiação (EUR), proposto por Monteith (1972), tem precisão aceitável para este fim, provendo informações espaciais e temporais da localização e do estado da vegetação (TEIXEIRA et al., 2013, 2015b).

A BIO é um parâmetro-chave para qualquer ecossistema, sendo seus valores altamente variáveis no tempo e no espaço. Em ambientes com disponibilidades hídricas limitadas, particularmente em regiões Áridas e Semiáridas, o grande desafio é o aumento da BIO pela otimização do manejo da água (ADAK et al., 2013).

Um terceiro modelo para calcular a resistência da superfície aos fluxos hídricos ( $r_s$ ) é usado em conjunto com o Safer e o EUR, o Surface Resistance Algorithm (Soreal), também elaborado com dados de campo e de satélites (TEIXEIRA et al., 2008; TEIXEIRA, 2012). O Soreal, no trabalho corrente, é aplicado para a separação das variáveis hídricas e de vegetação dos ecossistemas representados pelas culturas irrigadas (CI) e pela vegetação natural (VN), nas condições semiáridas do Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

A PA pode ser definida como a razão dos benefícios líquidos da agropecuária, floresta e pesca, para quantidade de água para a produção desses benefícios. Considerando a vegetação, a PA pode ser estimada pela razão entre a BIO e a ET (MOLDEN et al., 2007), e quando multiplicada pelo índice de colheita (IC) no caso de culturas agrícolas, fornece a produtividade da água de culturas (PAC) (TEIXEIRA et al., 2015b).

Apesar de alguns estudos terem sido realizados para a determinação dos componentes da PA, estes geralmente utilizam a banda termal dos satélites. Como ocorreram alguns problemas com estas bandas no Landsat 8, este trabalho destaca a combinação dos modelos Safer, Monteith e Soreal, para demonstrar que as medições das bandas do visível e infravermelho próximo desse satélite, em conjunto com a rede de estações agrometeorológicas instaladas no Norte de Minas Gerais, podem ser usadas para as análises da dinâmica da PA em larga

escala ao longo do ano nos ecossistemas CI e VN, sob as condições semiáridas mineiras (TEIXEIRA; LEIVAS; SILVA, 2016). Uma análise preliminar do balanço de energia e produtividade de água, porém com imagens MODIS na resolução espacial de 250 m, utilizando dados do ano hidrológico de 2012, também já foi apresentada por Teixeira et al. (2015a).

## REDE DE ESTAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS DO NORTE DE MINAS

Em 2014, por meio de projeto da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), uma rede de estações agrometeorológicas automáticas foi instalada na região Semiárida do Norte de Minas Gerais. Esta rede vem sendo usada em conjunto com imagens de satélites com aplicação dos modelos Safer, EUR e Soreal.

Na Figura 1, é apresentada a localização da região de estudo com as divisões municipais e as estações agrometeorológicas: Mocaminho (MO), Matias Cardoso (MC), Gameleiras (GA), Jaíba (JB), Varzelândia (VZ), Verdelândia (VD), Pai Pedro (PP), Nova Porteirinha (NP), São João da Ponte (SJP), Riacho dos Machados (RM), Bela Vista (BV) e Capitão Enéas (CE).

### Caracterização ambiental

A vegetação nativa predominante no Norte de Minas é classificada como Cerrado (subtipos Campo, Campo Cerrado, Cerrado *Stricto Sensu*, Cerradão e Veredas), Caatinga (Floresta Estadual Decidual) e transições (IEF, 2017) e as principais bacias hidrográficas são as do São Francisco e Jequitinhonha (IGAM, 2010).

De acordo com Lumberras et al. (2014) as precipitações pluviométricas médias situam-se abaixo dos 900 mm/ano, concentrando-se nos três primeiros e nos três últimos meses do ano. A região é caracterizada por temperaturas do ar elevadas, típicas do clima tropical, com médias anuais em torno de 24 °C e máximas, entre 31 °C e 32 °C, ocorrendo, respectivamente, nos meses de setembro e outubro,



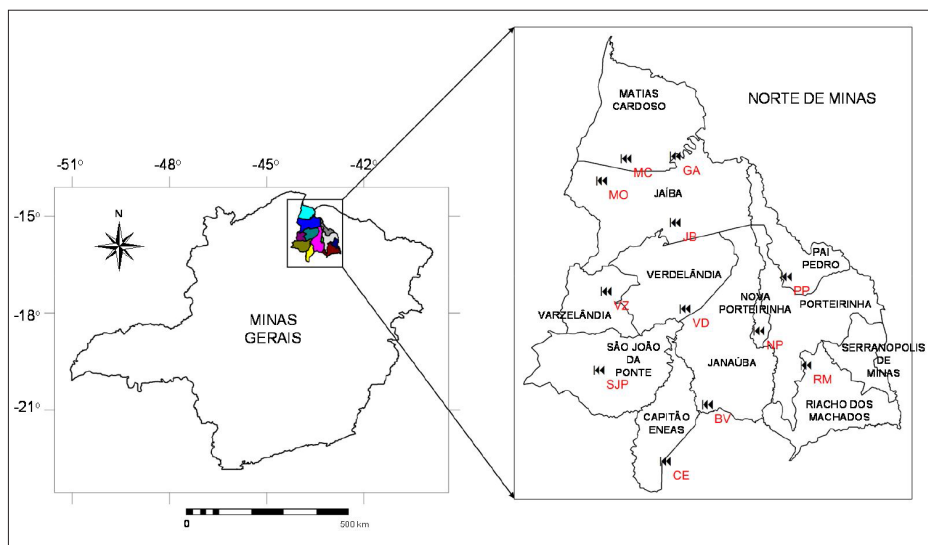


Figura 1 - Localização da região de estudo e das estações agrometeorológicas dentro dos municípios envolvidos nas condições Semiáridas do Norte de Minas Gerais

enquanto que junho e julho são os meses mais frios, com mínimas respectivas de 14 °C e 17 °C.

As imagens processadas envolveram a órbita 218, pontos 70 e 71 em 2015, cujos mosaicos abrangeram os dias julianos (DJ), 19 de janeiro (DJ 019), 12 de junho (DJ 163), 16 de setembro (DJ 259) e 3 de novembro (DJ 307).

### Modelagem dos componentes da produtividade da água

Na Figura 2, é descrita a modelagem dos componentes da PA com aplicação do Safer, EUR e Soreal, utilizando-se as bandas do visível e infravermelho próximo do satélite Landsat 8.

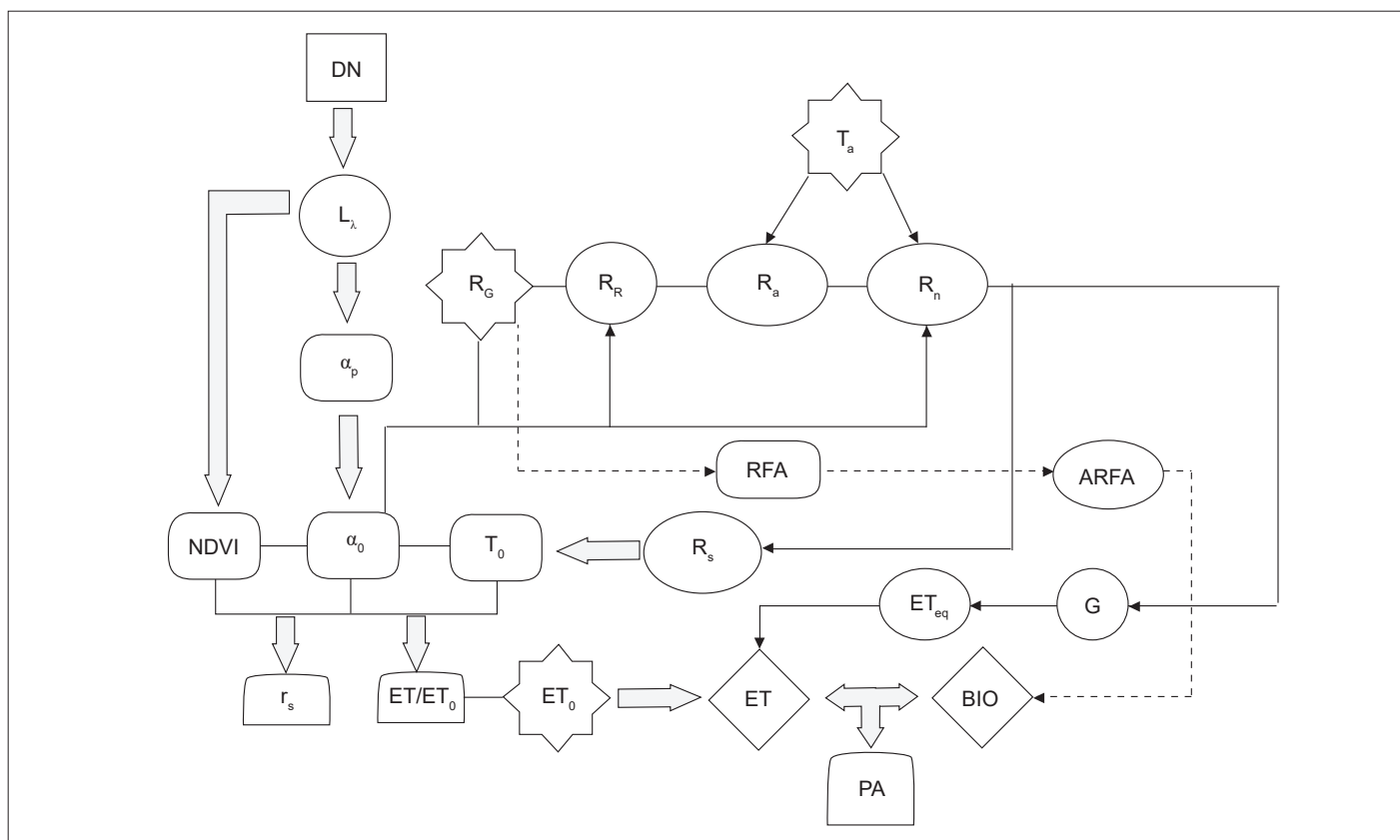


Figura 2 - Fluxograma para a obtenção dos componentes da produtividade da água (PA) em culturas irrigadas (CI) e vegetação natural (VN) – região Semiárida do Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil

Nota: Uso das bandas do visível e infravermelho próximo de imagens Landsat 8 em conjunto com estações agrometeorológicas.

DN - Número digital;  $T_a$  - Valores interpolados de temperatura média do ar;  $L_\lambda$  - Radiação espectral para os comprimentos de onda de cada banda ( $W/m^2/sr/\mu m$ );  $R_g$  - Radiação solar global;  $R_r$  - Radiação solar refletida;  $R_a$  - Radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera;  $R_n$  - Valores diários do saldo de radiação;  $\alpha_p$  - Albedo planetário envolvendo todo espectro solar; RFA - Radiação fotossinteticamente ativa; ARFA - Radiação fotossinteticamente ativa absorvida; NDVI - Índice da Diferença de Vegetação Normalizado;  $\alpha_0$  - Albedo da superfície;  $T_0$  - Temperatura da superfície;  $R_s$  - Radiação de ondas longas emitidas pela superfície;  $ET_{eq}$  - Evapotranspiração de equilíbrio; G - Fluxo de calor do solo;  $r_s$  - Resistência de superfície (s/m);  $ET_0$  - Evapotranspiração de referência; ET - Evapotranspiração atual; BIO - Produção de biomassa; PA - Produtividade da água.

Seguindo a Figura 2, as radiações espectrais do Landsat 8 ( $L_\lambda$ ) foram computadas dos números digitais (DN):

$$L_\lambda = aDN + b \quad (1)$$

em que:

a e b = constantes de regressão obtidas nos metadados (VANHELLE-MONT; RUDDICK, 2014).

O albedo planetário para cada banda ( $\alpha_{p\lambda}$ ) foi calculado como:

$$\alpha_{p\lambda} = \frac{L_\lambda \pi d^2}{RTOP_\lambda \cos\phi} \quad (2)$$

em que:

$L_\lambda$  = radiação espectral para os comprimentos de onda de cada banda ( $W/m^2/sr/\mu m$ );

d = distância relativa Terra-Sol;

$RTOP_\lambda$  = radiação solar média no topo da atmosfera, para os comprimentos de onda de cada banda ( $W/m^2/\mu m$ );

$\phi$  = ângulo zenital (TEIXEIRA et al., 2017).

O albedo planetário envolvendo todo o espectro solar ( $\alpha_p$ ) foi calculado como a soma do  $\alpha_{p\lambda}$  de acordo com o peso para cada banda ( $w_\lambda$ ).

$$\alpha_p = \sum w_\lambda \alpha_{p\lambda} \quad (3)$$

Os valores de  $\alpha_p$  foram corrigidos atmosféricamente, para obtenção do albedo da superfície ( $\alpha_0$ ), pelas equações de regressão provenientes de medições simultâneas prévias por satélites e em campo (TEIXEIRA et al., 2008; TEIXEIRA, 2010):

$$\alpha_0 = c\alpha_p + d \quad (4)$$

em que:

c e d = coeficientes de regressão.

O Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI) foi obtido como:

$$NDVI = \frac{\alpha_{p(ip)} - \alpha_{p(vermelho)}}{\alpha_{p(ip)} + \alpha_{p(vermelho)}} \quad (5)$$

em que:

$\alpha_{p(ip)}$  = valores de albedo planetário na faixa de comprimento de onda do infravermelho para o Landsat 8 (banda 5);

$\alpha_{p(vermelho)}$  = valores de albedo planetário na faixa de comprimento de onda do vermelho para o Landsat 8 (banda 4).

Com os valores de  $\alpha_0$  determinados por sensoriamento remoto e dados da radiação solar global ( $R_G$ ) interpolados, a radiação solar refletida ( $R_R$ ) foi calculada:

$$R_R = \alpha_0 R_G \quad (6)$$

A radiação de ondas longas emitida pela atmosfera ( $R_a$ ) foi calculada aplicando-se a lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_a = \sigma \varepsilon_A T_a^4 \quad (7)$$

em que:

$T_a$  = valores interpolados da temperatura média do ar;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ ).

$$\varepsilon_A = a_A (-\ln\tau)^{b_A} \quad (8)$$

em que:

$\tau$  = transmissividade atmosférica obtida pela razão de  $R_G$  para a radiação solar no topo da atmosfera (RTOP);

$a_A$  e  $b_A$  = coeficientes de regressão.

Os valores diários do saldo de radiação ( $R_n$ ) foram estimados com a equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau \quad (9)$$

Com  $a_L$  sendo espacialmente distribuído por meio da sua relação com  $T_a$  (TEIXEIRA et al., 2008).

Para os valores diários de fluxo de calor no solo (G) foi usada a equação a seguir (TEIXEIRA, 2010):

$$\frac{G}{R_n} = a_G \exp(b_G \alpha_0) \quad (10)$$

em que:

$a_G$  e  $b_G$  = coeficientes de regressão.

Tendo  $R_G$ ,  $R_R$ ,  $R_a$  e  $R_n$  determinados, a radiação de ondas longas emitidas pela superfície ( $R_s$ ) foi obtida por resíduo no balanço de radiação:

$$R_s = R_G - R_R + R_a - R_n \quad (11)$$

Usando a lei de Stefan-Boltzmann novamente, os valores diários da temperatura da superfície ( $T_0$ ) foram estimados:

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{R_s}{\sigma \varepsilon_s}} \quad (12)$$

Em que a emissividade da superfície ( $\varepsilon_s$ ) é estimada como Teixeira et al. (2015ab, 2017) e Teixeira, Leivas e SILVA (2016):

$$\varepsilon_s = a_s \ln NDVI + b_s \quad (13)$$

em que:

$a_s$  e  $b_s$  = coeficientes de regressão.

No Safer, os valores instantâneos da razão da ET para evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) são modelados:

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a_{sf} + b_{sf} \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (14)$$

em que:

$a_{sf}$  e  $b_{sf}$  = coeficientes de regressão.

Para a classificação da vegetação em culturas irrigadas e VN, o modelo Sureau foi aplicado:

$$r_s = \exp \left[ a_r \left( \frac{T_0}{\alpha_0} \right) (1 - NDVI) + b_r \right] \quad (15)$$

em que:

$r_s$  = resistência da superfície (s/m);

$a_r$  e  $b_r$  = coeficientes de regressão.

Valores de  $r_s$  abaixo de 800 s/m e NDVI acima ou igual a 0,3 foram considerados culturas irrigadas; enquanto valores de  $r_s$  entre 1.000 e 10.000 s/m e NDVI abaixo de 0,3 foram considerados vegetação natural. O valor maior dessa faixa foi incluído para exclusão de rochas e construções humanas.

A Equação 14 não se aplica em corpos d'água ( $NDVI < 0$ ). Então, o conceito da evapotranspiração de equilíbrio ( $ET_{eq}$ ) é adotado para estas condições no algoritmo Safer (RAUPACH, 2001), aplicando-se funções condicionais para os valores negativos de NDVI:

$$ET_{eq} = 0,035 \left( \frac{s(R_n - G)}{s + \gamma} \right) \quad (16)$$

em que:

$s$  = inclinação da curva de relação entre a pressão de saturação do vapor d'água para a  $T_a$ ;

$\gamma$  = constante psicrométrica.

Com funções condicionais aos valores de NDVI, a ET diária foi obtida como:

$$ET = \frac{ET}{ET_0} ET_{0-24} \text{ ou } ET_{eq} \quad (17)$$

em que:

$ET_{0-24}$  = evapotranspiração de referência para o período de 24 horas obtido pelo método de Penman-Monteith padronizado pela FAO (ALLEN et al., 1998) aplicado aos dados das estações agrometeorológicas da Figura 1.

Nos cálculos da BIO, o modelo EUR foi aplicado introduzindo o efeito da umidade do solo por meio da razão  $ET/ET_0$ :

$$BIO = \varepsilon_{\max} \left( \frac{ET}{ET_0} \right) ARFA 0,864 \quad (18)$$

em que:

$\varepsilon_{\max}$  = máxima eficiência de uso da radiação;

ARFA = radiação fotossinteticamente ativa absorvida;

0,864 = fator de conversão de unidades.

A ARFA foi obtida em função do NDVI e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente, que por sua vez foi estimada como uma fração de  $R_G$ :

$$ARFA = (a_{rf} \cdot NDVI + b_{rf}) RFA \quad (19)$$

Os coeficientes  $a_{rf}$  e  $b_{rf}$  foram considerados 1,257 e -0,161, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2015b).

A PA com base na ET foi então considerada como:

$$PA = \frac{BIO}{ET} \quad (20)$$

### INFORMAÇÕES AGROCLIMÁTICAS E AMBIENTAIS OBTIDAS COM SUPORTE DA REDE DE ESTAÇÕES DO NORTE DE MINAS

No Gráfico 1, são apresentadas as tendências dos valores quinzenais dos totais médios dos pixels da precipitação (P) e da  $ET_0$  em termos de DJ, resultantes da interpolação na área que envolve todos os municípios abordados do Norte de Minas

Gerais, Figura 1, incluindo os períodos prévios, durante e após a aquisição das imagens de 2014 a 2015.

Pelas características semiáridas da região, P foi mais variável que  $ET_0$ . As chuvas concentraram-se no início e no final dos anos de 2014 e 2015, em concordância com Lumbreras et al. (2014). Os períodos mais secos e longos, com valores quinzenais de P abaixo de 5 mm, foram de DJ 160 (9 de junho) a 289 (16 de outubro), em 2015, inferiores a 10% da  $ET_0$ . Entretanto, percebem-se estiagens no início de janeiro e de DJ 064 (5 de março) a 097 (7 de abril), durante a estação chuvosa de 2015, com P correspondente a apenas 4% da  $ET_0$ , o que, aliado a elevados valores da demanda atmosférica, contribuiu com condições de escassez hídrica, o que irá refletir nos resultados dos componentes da PA com a imagem de DJ 019 (19 de janeiro), mesmo tendo havido boa quantidade de chuvas no final de 2014.

Pelos valores diários de  $ET_0$ , as maiores demandas atmosféricas ocorreram no final do ano de 2015, quando os valores quinzenais ficaram acima de 80 mm. Nestas situações, o sol esteve em torno de sua posição zenital, com céu apresentando baixa cobertura de nuvens. Nas condições

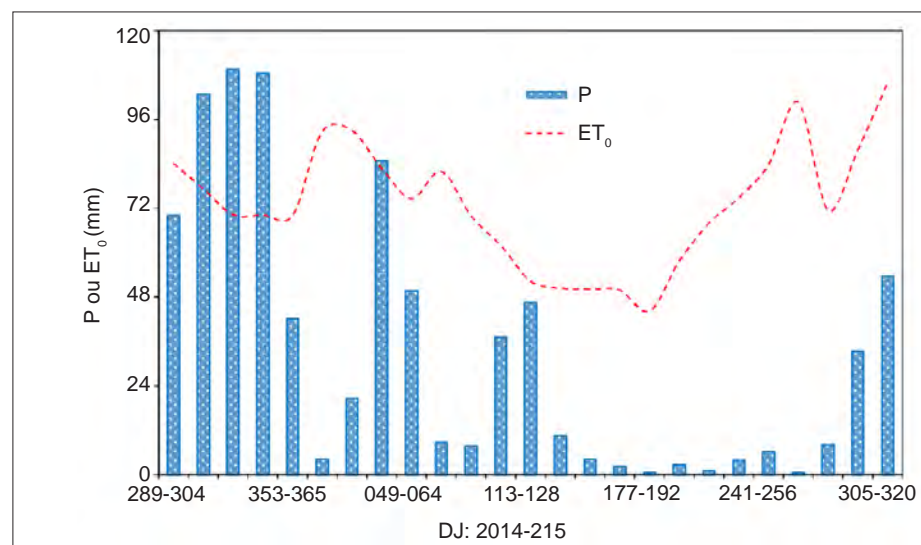


Gráfico 1 - Componentes do balanço hídrico climático do Norte de Minas Gerais, envolvendo os períodos quinzenais prévios, durante e após a aquisição das imagens de 2014 a 2015

Nota: P - Precipitação;  $ET_0$  - Evapotranspiração de referência; DJ - Dia Juliano.



de elevados valores de  $P$  e  $ET_0$ , no início e no final do ano de 2015, todos agroecossistemas, VN e CI foram favorecidos por elevados valores da  $ET$  e da  $BIO$ .

Na Figura 3, é apresentada a distribuição espacial e médias dos valores diários da  $ET$  em termos de DJ, envolvendo os agroecossistemas CI e VN no Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil sob as diferentes condições termo-hídricas, do ano de 2015.

As variações espaciais e temporais da  $ET$  são evidentes, confirmando a sensibilidade do Safer sem a banda termal do Landsat 8, principalmente quando se comparam os períodos de condições mais úmidas (DJ 019 – 19 de janeiro), com aquelas mais secas (DJ 259 – 16 de setembro), onde os pixels de maiores valores nesse último período de aquisição da imagem representam claramente as CI.

Os valores mais elevados da  $ET$  ocorreram no período chuvoso (DJ 019 – 19 de janeiro), quando as precipitações acumuladas favoreceram o ecossistema VN, enquanto além do fornecimento natural de água pelas chuvas, o ecossistema CI foi beneficiado com irrigação suplementar.

A menor média e desvio padrão da  $ET$  para o ecossistema CI foram no período logo após as chuvas (DJ 163 – 12 de junho). Para as espécies naturais os valores mais elevados, tanto das médias como dos desvios padrões, ocorreram no período chuvoso representado pela imagem de DJ 019 (19 de janeiro), enquanto que os menores foram no período mais seco (DJ 259 – 16 de setembro), pelo baixo desenvolvimento das espécies naturais, que ocupam a maior área do Norte de Minas Gerais. Nessas últimas condições, as plantas entram em estado de dormência, fechando os estômatos, limitando a transpiração e a fotossíntese. Por outro lado, as irrigações nas culturas agrícolas são de alta frequência, sem a ocorrência de déficits hídricos, o que favorece os elevados fluxos hídricos.

Os valores médios dos pixels para  $ET$ , no ecossistema CI, variaram de  $2,5 \pm 1,3$  a  $4,1 \pm 1,6$  mm/d. As faixas correspon-

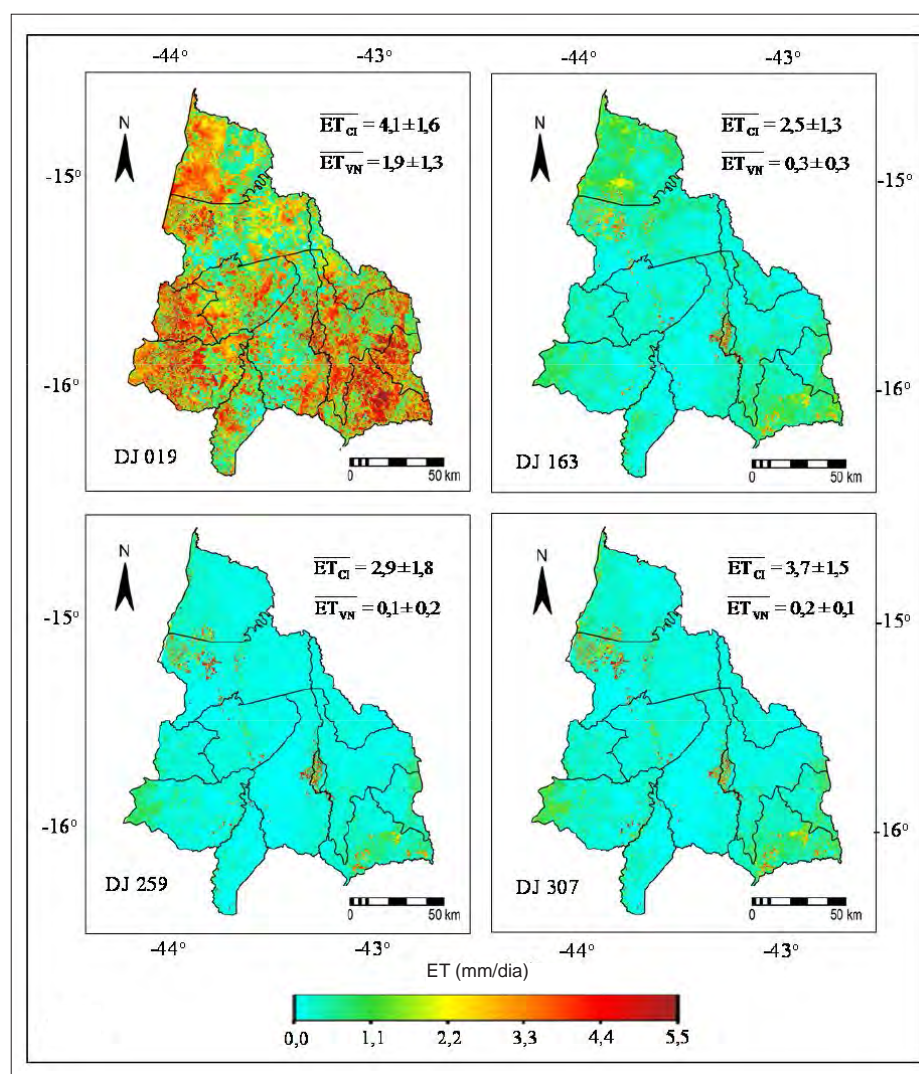


Figura 3 - Distribuição espacial e médias dos valores diários da evapotranspiração atual ( $ET$ ) envolvendo os agroecossistemas culturas irrigadas (CI) e vegetação natural (VN), no Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil sob as diferentes condições termo-hídricas do ano de 2015

Nota: As barras significam valores médios dos pixels apresentados com desvios padrões.  
DJ - Dia Juliano.

tes para a VN foram de  $0,1 \pm 0,2$  a  $1,9 \pm 1,3$  mm/d. Os valores da  $ET$  obtidos por Leivas et al. (2016) em pivôs de irrigação no perímetro em Jaíba, chegaram a  $3,5 \pm 1,0$  mm/dia. Parte dessas diferenças, com relação aos resultados apresentados na Figura 3, pode ser atribuída à menor resolução de 250 m das imagens MODIS usadas nesse estudo prévio, com relação às do Landsat 8 do estudo corrente.

Destaques para maiores valores da  $ET$  são para os municípios de Jaíba e Matias Cardoso, por causa do Projeto de irrigação

Jaíba, onde ocorrem grandes produções de fruteiras e cana-de-açúcar irrigadas com as águas do Rio São Francisco; e para Nova Porteirinha e Janaúba, Perímetro Gorutuba, por causa das áreas com fruteiras e culturas para produção de sementes irrigadas com as águas da barragem do Bico da Pedra. O município Riacho dos Machados apresenta também algumas áreas com elevados valores da  $ET$ , sendo provavelmente relacionadas com o suporte à bovinocultura e pequenas hortas, sendo as principais fontes hídricas o Rio Vacaria e o Córrego Samambaia (Fig. 1 e 3).

Na Figura 4, são apresentadas a distribuição espacial e a média dos valores diários da BIO em termos de DJ, envolvendo os agroecossistemas CI e VN no Norte de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil sob as diferentes condições termo-hídricas do ano de 2015.

As variações espaciais e temporais da BIO são também evidentes, destacando o potencial do uso conjunto do algoritmo Safer com o modelo EUR de Monteith, principalmente comparando-se os períodos mais úmidos e mais secos, onde se percebem os pixels de maiores e de menores valores da BIO, para os ecossistemas CI e NV, respectivamente. Destacam-se também os valores mais elevados da BIO, no período chuvoso (DJ 019 – 19 de janeiro), quando as chuvas promoveram o desenvolvimento dos dosséis das plantas do ecossistemas VN e CI, os quais consomem água suplementar pela irrigação.

A menor média da BIO para o ecossistema CI foi verificada nas condições climaticamente mais secas, representadas pela imagem DJ 259 (16 de setembro). Entretanto, de acordo com os valores de desvio padrão, as menores variações espaciais ocorreram no DJ 307 (3 de novembro). Como no caso da ET, para as espécies naturais, os valores mais elevados da BIO e os desvios padrões aconteceram no período chuvoso representado pela imagem de DJ 019, enquanto que os menores foram no período mais seco (DJ 259 – 16 de setembro).

As taxas médias da BIO em CI variaram respectivamente de  $78 \pm 62$  a  $132 \pm 64$  kg/ha/d. Os valores correspondentes para VN foram de  $1 \pm 1$  a  $44 \pm 42$  kg/ha/d. No polo Petrolina/Juazeiro do Submédio São Francisco, Teixeira et al. (2013) encontraram um limite superior para as médias da BIO de 100 kg/ha/dia para o ecossistema CI, e de 46 kg/ha/dia para o ecossistema VN, com diferenças quanto aos resultados da Figura 4, as quais, também podem ser explicadas, em parte, pela menor resolução das imagens MODIS usadas com relação à do Landsat 8, do estudo corrente.

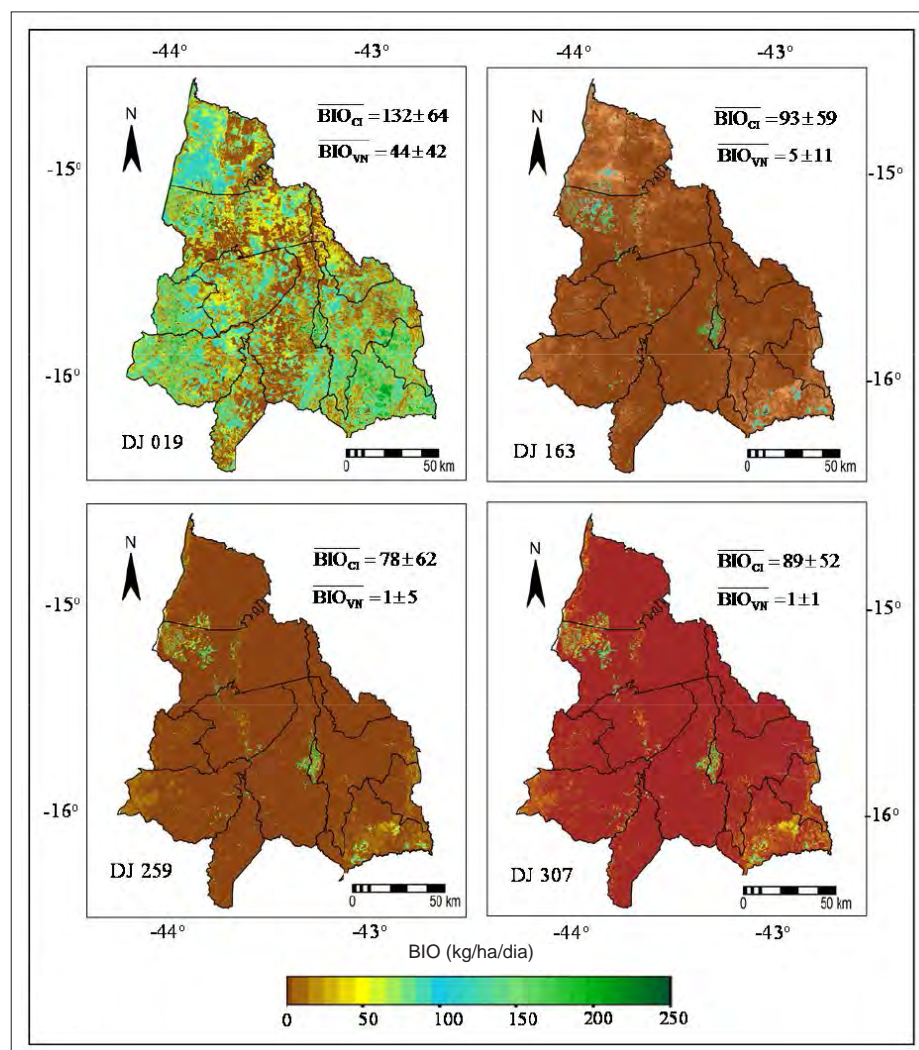


Figura 4 - Distribuição espacial e médias dos valores diários da produção de biomassa (BIO), envolvendo os agroecossistemas culturas irrigadas (CI) e vegetação natural (VN), no Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil sob as diferentes condições termo-hídricas do ano de 2015

Nota: As barras significam valores médios dos pixels apresentados juntamente com os desvios padrões.

DJ - Dia Juliano.

Como existe uma relação direta entre ET e BIO, os destaques para esta última são também para os municípios de Jaíba e Matias Cardoso (Projeto Jaíba), Nova Porteirinha e Janaúba (Perímetro Gorutuba), e Riacho dos Machados, pelas mesmas razões que favorecem a ET já citadas (Fig. 1 e 4).

Na Figura 5, são apresentadas a distribuição espacial e as médias dos valores diários da PA com base na evapotranspiração – PA, em termos de DJ –, envolvendo os agroecossistemas CI e VN, no Norte de

Minas Gerais, sob as diferentes condições termo-hídricas do ano de 2015.

No caso da PA, tomada como a razão da BIO sobre a ET, os resultados da imagem DJ 163 (12 de junho) apresentaram tanto maiores taxas como variações espaciais para o ecossistema CI, como consequência dos efeitos das condições logo após o período chuvoso, enquanto dentro da estação chuvosa representada pela imagem de 19 de janeiro (DJ 019) foram verificados os maiores valores para o ecossistema VN, indicando diferentes condições de

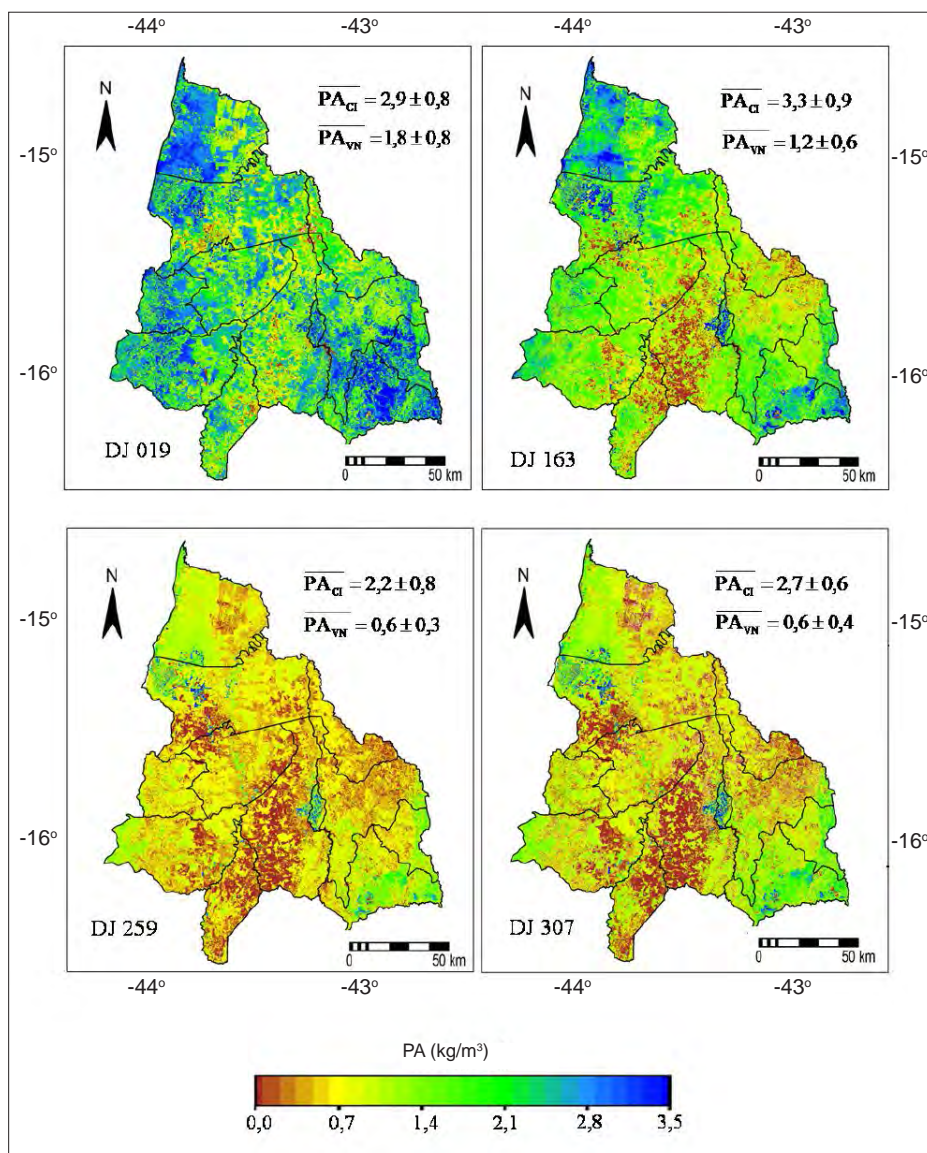


Figura 5 - Distribuição espacial e médias dos valores diários da produtividade da água (PA), com base na evapotranspiração que envolve os agroecossistemas culturais irrigadas (CI) e vegetação natural (VN), no Norte de Minas Gerais, Sudeste do Brasil sob as diferentes condições termo-hídricas do ano de 2015

Nota: As barras significam valores médios dos pixels apresentados juntamente com os desvios padrões.

DJ - Dia Juliano.

umidade do solo nas espécies naturais e heterogeneidade nas fases fenológicas nas CI. Maior uniformidade para a PA ocorreu no ecossistema VN, caracterizada pelos menores valores de desvio padrão, quando comparados com o ecossistema CI.

Os valores médios dos pixels para a PA, no ecossistema CI, variaram de  $2,2 \pm 0,8$  a  $3,3 \pm 0,9$  kg/m<sup>3</sup>. As faixas correspondentes para o ecossistema VN foram de  $0,6 \pm 0,3$  a  $1,8 \pm 0,8$  kg/m<sup>3</sup>.

Os valores de PA, quando multiplicados pelo IC, fornecem a PAC. Os valores de IC foram em torno de 0,60 e 0,80 para parreiras e mangueiras, nas condições semiáridas do Nordeste do Brasil, os quais retornaram à PAC em torno de 2,8 e 3,4 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2009). Os valores máximos da PA do Semiárido mineiro, quando multiplicados pelos valores de IC, foram inferiores, sendo

a causa provável a ocorrência de restrição de água para irrigação, durante os eventos de seca climática, em 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso conjunto das bandas de ondas curtas do satélite Landsat 8 e da rede de estações agrometeorológicas permitiu a quantificação em larga escala dos parâmetros da PA na escala espacial de 30 m, em diferentes condições termo-hídricas do ano de 2015, considerando-se a mistura de agroecossistemas nos municípios do Norte de Minas Gerais. As análises podem subsidiar um melhor entendimento da dinâmica desses parâmetros, considerando-se as mudanças climáticas e as de uso da terra no Semiárido mineiro.

Extraindo-se apenas as superfícies vegetais do município, conclui-se que o período chuvoso destaca-se como o de maior ET e BIO, tanto para CI como para VN. Porém, os maiores valores da PA com base na evapotranspiração ocorreram logo após as chuvas nas CIs.

## AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo aporte financeiro referente a projetos sobre produtividade da água (PA); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pela concessão de bolsas de incentivo a membros com atividades relacionadas com o Projeto; ao apoio via Programa Pesquisador Mineiro (PPM) que possibilitará a continuidade do acompanhamento da Rede de Estações e pesquisas correlatas.

## REFERÊNCIAS

- ADAK, T. et al. Biomass and biomass water use efficiency in oilseed crop (*Brassica juncea* L.) under Semi-arid microenvironments. **Biomass and Bioenergy**, v.51, p.154-162, Apr. 2013.
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 56).

CODEVASF. **Jaíba (MG)**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/jaiba-ii-iii-iv>>. Acesso em: 6 jun. 2017.

IEF. **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. Belo Horizonte, [2017]. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/florestas>>. Acesso em: 6 jun. 2017.

IGAM. **Unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos: Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010. 1 mapa. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/mapoteca/upgrhs-minas-gerais.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2017.

LEIVAS, J.F. et al. Biophysical indicators based on satellite images in an irrigated area at the São Francisco river basin, Brazil. **Proceedings of SPIE**, v.9998, p.99981N-99981N, 2016.

LUMBRERAS, J.F. et al. **Levantamento semi-detalhado dos solos do Projeto Jaíba (etapa III), estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. 145p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 248).

MOLDEN, D. et al. Agricultural water productivity and savings: policy lessons from two diverse sites in China. **Water Policy**, v.9, p.29-44, Jan. 2007. Supplement 1.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v.9, n.3, p.747-766, Dec. 1972.

PÔÇAS, I. et al. Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane Landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.21, p.159-172, Apr. 2013.

RAUPACH, M.R. Combination theory and equilibrium evaporation. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v.127, n.574, p.1149-1181, Apr. 2001.

TEIXEIRA, A.H. de C. Determination of surface resistance to evapotranspiration by remote sensing parameters in the Semi-arid region of Brazil for land-use change analyses. In: SYMPOSIUM HELD AT JACKSON HOLE, 2010, Jackson, WY. **Proceedings... Remote sensing and hydrology**. Wallingford: IAHS, 2012. p.167-170. (IAHS. Publication, 352).

TEIXEIRA, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops

and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v.2, n.5, p.1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A.H. de C.; BASSOI, L.H. Crop water productivity in Semi-arid regions: from field to large scales. **Annals of Arid Zone**, v.48, (3/4), p.1-13, Sept./Dec. 2009.

TEIXEIRA, A.H. de C.; LEIVAS, J.F.; SILVA, G.B. Options for using Landsat and RapidEye satellite images aiming the water productivity assessments in mixed agroecosystems. **Proceedings of SPIE**, v.9998, p.99980A-1-99980A-11, 2016.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v.362, n.1/2, p.110-127, Nov. 2008.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Balanço de energia e produtividade da água em larga escala: caracterização, modelagem e aplicação no Norte de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Estratégias para a convivência com o déficit hídrico, Belo Horizonte, v.36, n.285.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian Semiarid region. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.11, n.1, p.016030, Feb. 2017.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Large-scale water productivity assessments with MODIS images in a changing semi-arid environment: a brazilian case study. **Remote Sensing**, v.5, p.5783-5804, 2013.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the low-middle São Francisco River basin, Brazil: part B - application to the regional scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, n.3/4, p.477-490, Mar. 2009.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. Water productivity studies from earth observation data: characterization, modeling, and mapping water use and water productivity. In: THENKABAIL, P.S. (Ed.). **Remote sensing of water resources, disasters, and urban studies**. Boca Raton: CRC, 2015b. p.101-126.

VANHELLEMONT, Q.; RUDDICK, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, v.145, p.105-115, Apr. 2014.

# Publicações para download



**Informe Agropecuário**  
**Folderes**  
**Boletim Técnico**  
**Cartilhas**  
**Circulares técnicas**  
**Série Documentos**

Confira no site  
**[www.epamig.br](http://www.epamig.br)**



# Sistemas Agroflorestais e recursos hídricos

*Paulo César Horta Rodrigues<sup>1</sup>, Simone Fonseca Alves<sup>2</sup>, José Mário Lobo Ferreira<sup>3</sup>, Caroline de Souza Cruz Salomão<sup>4</sup>, Rodrigo Pinto da Matta Machado<sup>5</sup>*

**Resumo** - A integração entre solo, água e biodiversidade, sobretudo com relação à atividade biológica, à ciclagem de nutrientes e à retenção de água, pode ser favorecida com a implantação de Sistemas Agroflorestais, especialmente em áreas relevantes à proteção dos recursos hídricos, servindo como modelo para a restauração da vegetação nativa, geração de renda aos produtores rurais e serviços ecossistêmicos para a sociedade. São apresentadas a relação dos Sistemas Agroflorestais com os recursos hídricos superficiais e subterrâneos e a relação do uso e ocupação do solo com as águas subterrâneas mais profundas, com foco na Bacia do Rio Doce e no programa de adequação ambiental em curso.

**Palavras-chave:** Rio Doce. Sistema Agroflorestal. Restauração da vegetação. Água subterrânea. Aquífero. Regularização ambiental.

## Agroforestry Systems and water resources

**Abstract** - The link between soil, water and biodiversity explores the biological activity rule on nutrient cycling and water retention, favored by Agroforestry Systems, especially in areas relevant to the protection of water resources. Suited as a model for the restoration of native vegetation, income for the farmers and ecosystem services to society, the Agroforestry Systems' relationship with surface and underground water resources is explored, as well as the relationship of land use with the deeper groundwater, with the focus on the Rio Doce watershed and its environmental adequacy.

**Keywords:** Rio Doce. Groundwater. Aquifers. Environmental regulation.

### INTRODUÇÃO

O produtor rural, ao gerenciar os sistemas de produção, deve buscar mecanismos que visem reter a água neste sistema, e, com isso, diminuir riscos relacionados com a escassez hídrica e com a perda de nutrientes. Segundo Primavesi (2013), a cobertura vegetal e a atividade biológica auxiliam tanto na redução da velocidade do escoamento superficial da água, quanto na ampliação da capacidade do seu armazenamento e o tempo de residência no sistema. Garante, assim, que as águas das chuvas permaneçam no local por mais tempo.

Essa estratégia pode ser alavancada com a introdução de espécies arbustivas

e perenes, o que garante uma cobertura vegetal permanente e diversificada, com seus resíduos e atividade radicular em todo o perfil do solo, permitindo, assim, a conservação de mais água.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) podem auxiliar na promoção dessa biodiversidade, com a maximização da fotossíntese por meio do plantio em alta densidade e em diferentes estratos, explorando diferentes camadas do solo. Esses sistemas também são eficazes na preservação da água e na recuperação e conservação do solo.

Segundo Miccolis et al. (2016), os SAFs podem ser definidos como uma prática milenar do uso do solo, a qual en-

volve a introdução de árvores, palmeiras, bambus, entre outras espécies lenhosas perenes nas áreas de produção agropecuária, visando benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes desse sistema. Há diversos tipos de SAFs, desde sistemas mais simplificados, com poucas espécies e baixa intensidade de manejo, até sistemas altamente complexos, com alta biodiversidade, análogos aos ecossistemas florestais naturais com altas taxas de aporte de matéria orgânica (MO).

O Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – International Center for Research in Agroforestry (Icraf) descreve os SAFs como um sistema de uso da terra

<sup>1</sup>Geólogo, Ph.D. Mineralogia e Geologia, Pesq./Prof. Tit. CNEN - CDTN, Belo Horizonte, MG, pchr@cdtn.br

<sup>2</sup>Geógrafa, D.Sc., Consultora Área Ambiental, Belo Horizonte, MG, symonfonseca@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, M.Sc. Agroecossistemas, Pesq. EPAMIG Sede, Belo Horizonte, MG, jmlobo@epamig.br

<sup>4</sup>Eng. Ambiental/Adm. Empresas, Mestranda em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais UFMG/IGC, Belo Horizonte, MG, carolinescsalomao@gmail.com

<sup>5</sup>Biólogo, Ph.D., Prof. Adj. UFMG - ICB, Belo Horizonte, MG, rodrigopmmachado@gmail.com



onde espécies lenhosas são utilizadas nas mesmas unidades de área com as culturas agrícolas e/ou animais, a fim de estabelecer um arranjo espacial e temporal integrado. Complementarmente, esse sistema tem como base a dinâmica, a ecologia e a gestão dos recursos naturais, que, por meio da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola, diversifica e sustenta a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais (ICRAF, 2018).

A prática de produzir e utilizar muita matéria vegetal, incluindo podas frequentes, em que o material pode ser picado e disposto sobre o solo, propicia maior contato entre o material e a superfície, garantindo uma cobertura constante, que reflete também na melhoria da fertilidade do solo, ao considerar o aporte de energia e matéria no sistema, aumento da infiltração e armazenamento da água das chuvas, bem como maior estabilidade da temperatura, adequada à atividade biológica.

A implantação de sistemas diversificados também incorpora variados usos do solo e amplia possíveis serviços ecossistêmicos: refúgio para inimigos naturais e polinizadores; ciclagem e aumento da biodisponibilização de nutrientes; fixação biológica de N; aumento do teor de MO no solo; oferta de recursos alimentares para a atração da fauna, incluindo dispersores de sementes.

Os SAFs servem, inclusive, como alternativa, em casos específicos, para a restauração das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reserva Legal (RL), constituindo atividades produtivas que permitem conciliar a função ambiental de proteção, restauração e geração de renda.

A compreensão da dinâmica hidrogeológica nas diversas regiões, paisagens e feições do relevo, aliadas ao tipo de manejo e ao uso e ocupação do solo, serão fundamentais para avaliar as potencialidades, vulnerabilidades e aptidões na implantação dos SAFs e para o manejo dos recursos hídricos.

## HISTÓRICO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS E SUA EVOLUÇÃO NO BRASIL

A degradação dos solos é um fenômeno não somente de nosso tempo. Tem ocorrido por milhares de anos, mesmo antes dos impactos humanos negativos tornarem-se um fator importante. Durante as últimas décadas, o principal agente de degradação dos solos mostra ser os sistemas agrícolas com alta dependência de insumos externos (FROM... , 1991). Estes sistemas intensivos dependem de um vasto aumento no uso de entradas (*inputs*) na forma de fertilizantes solúveis industrializados, água para irrigação e pesticidas (ODUM, 1989).

Sistemas agrícolas de alta dependência de insumos externos levam à simplificação, isto é, à redução da complexidade ecossistêmica para fases iniciais da sucessão ecológica mais parecidas com a monocultura. Quanto mais simples e uniforme for o sistema, menor será sua capacidade de atuar como um amortecedor de mudanças ambientais (MANSVELT, 1988).

Visando aumentar a capacidade de suporte humano e manter a sustentabilidade de suas terras agrícolas, agricultores de várias regiões do Planeta observaram que plantas anuais e outras não madeireiras

podem ser beneficiadas, quando cultivadas nas proximidades de espécies perenes madeireiras como árvores e arbustos. Durante vários anos estes agricultores elaboraram sistemas de produção bem-sucedidos, criativos e testados pelo tempo (WILKEN, 1976; VISWANATH et al., 2018).

Em âmbito mundial a terminologia sistema agroflorestal foi primeiramente mencionada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), em 1978 (CHANDLER, 1979). De acordo com Combe e Budowski (1979), os SAFs compreendem todas as técnicas, em que se encontram associadas a produção florestal com os cultivos e/ou com a pecuária (Fig. 1). A combinação pode ser simultânea ou ordenada no tempo ou no espaço.

Segundo Nao (1979), nos estudos feitos pela FAO, em 1956, sobre a agricultura nômade no Congo Belga e na Costa do Marfim, na África, são mencionadas propostas de cultivos de cacau (*Theobroma cacao*) debaixo do dossel de florestas nativas. Pode-se observar esta mesma associação com o cacau no sistema da Cabruca, no estado da Bahia, Brasil.

Nao (1979) menciona também uma publicação da FAO, de 1958, sobre as



Figura 1 - Exemplo de um Sistema Silvopastoril

Rodrigo M. Machado

vantagens econômicas do plantio de álamo (*Populus nigra*), associado a cultivos agrícolas e de forrageiras. Outro momento importante na formação de recursos humanos para a pesquisa e extensão sobre SAFs, na América Latina, especialmente nos trópicos úmidos americanos, foi a institucionalização do Programa Cooperativo IICA-TROPICOS, o qual focava nos cultivos perenes e sistemas integrados de produção agrícola, com uma grande ênfase nas espécies nativas suscetíveis de participar do desenho de SAFs, como o guaraná (*Paullinia cupana*) e a castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), entre outras (DUBOIS, 1979).

Outra tipologia de SAFs é a taungya, palavra birmanesa que, literalmente, significa, cultivo de colina (tung – colina e ya – cultivo). Neste sistema, iniciado na Birmânia em 1806, árvores de alto valor econômico, como a Teca (*Tectona grandis*), são plantadas em consórcio com culturas anuais (KING, 1987).

Atualmente, um sistema parecido com o taungya, é o Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), utilizado para recuperação de pastagens degradadas, o qual vem sendo disseminado em várias regiões do Brasil (ALVARENGA et al., 2010). É esperado que, além de espécies do gênero *Eucalyptus*, o Sistema ILPF possa diversificar o seu componente arbóreo, utilizando espécies promissoras nativas.

Os SAFs foram difundidos no Brasil no início da década de 1960 – ainda que casos isolados tenham ocorrido anteriormente –, com os trabalhos de Jean C. L. Dubois, inicialmente na Amazônia e, posteriormente, no Rio de Janeiro, com a criação da Rede Brasileira Agroflorestal (Rebraf) (MACEDO; VALE; VENTURIN, 2010).

Na década de 1980, houve um avanço na implantação dos SAFs, sendo praticados com mais intensidade sobretudo por pequenos agricultores (SCHEMBERGUE et al., 2017). Ao longo dos últimos trinta anos, uma série de iniciativas de difusão desse sistema

surgiu, desde consórcios simples como a ILPF até sistemas estratificados complexos. A maioria dos SAFs tem sido implementada por agricultores em pequena escala, graças à difusão promovida por Organizações Não Governamentais (ONGs), voltadas para o desenvolvimento rural. Atualmente, o Brasil conta com ampla variedade de sistemas, desde os quintais agroflorestais familiares, característicos das regiões de Mata Atlântica, até consórcios mais complexos.

Na Amazônia brasileira, agricultores nipo-brasileiros dos municípios de Tomé-Açu e Acará implantaram SAFs, buscando alternativas para controlar a disseminação do *Fusarium solani* f. sp. *piperis* nos pimentais (*Piper nigrum* L.), que surgiu em 1957 e passou a devastar os plantios a partir da década de 1970 (HOMMA, 2006). Os SAFs tinham como objetivo aproveitar as áreas antes do plantio da pimenta, durante o ciclo produtivo e após o seu declínio (KATO; TAKAMATSU, 2005).

No Vale do Ribeira, estado de São Paulo, encontra-se uma experiência consolidada de SAFs conduzida pela Associação dos Agricultores Agroflorestais de Barra do Turvo e Adrianópolis (Cooperafloresta). Essa associação nasceu a partir da organização de famílias agricultoras quilombolas nesta região, visando superar as grandes dificuldades ali existentes. O trabalho pioneiro com agrofloresta foi iniciado em 1996, após contato com Ernst Götsch, um dos pioneiros em difundir os SAFs no Brasil (COOPERAFORESTA, 201-). Também no estado de São Paulo, em meados de 1996, o Mutirão Agroflorestal surgiu como um movimento de articulação e fortalecimento de pessoas, grupos e iniciativas de agricultura florestal, por meio da promoção do intercâmbio de experiências, o desenvolvimento de metodologias em educação ambiental e agroflorestal e assistência técnica rural agroecológica com base nas metodologias participativas (MUTIRÃO AGROFLORESTAL, 2018).

Os projetos Reflorestamento Econômico Consorciado Adensado (RECA), em Ponta do Abunã, RO; Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), em Tomé-Açu, PA e Poço de Carbono Jurueña, em Jurema, MT, são uma referência em consórcios agroflorestais, organização comunitária e comercialização da produção nas regiões Centro-Oeste e Norte. Em Recife, o Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá, uma ONG, fundada em 1993, trabalha para promoção da agricultura familiar dentro dos princípios da agroecologia, desenvolvendo e multiplicando a agricultura Agroflorestal.

Diversos assentamentos de Reforma Agrária, em diferentes localidades no Brasil também estão adotando SAFs. Destacam-se os assentamentos no município de Serra Azul, SP, em Morretes, Antonina, Paranaguá, Serra Negra (Litoral do Paraná), Lapa (grande Curitiba, PR), e Ribeirão Preto e Apiaí (ambos em São Paulo).

O estado de Minas Gerais tem desenvolvido diversas experiências com SAFs. O Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CT-ZM), em parceria com Sindicatos dos Trabalhadores Rurais e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), desenvolveu a experimentação participativa nesses sistemas com agricultores familiares em diversos municípios da Zona da Mata mineira (CARDOSO et al., 2001). Na região do Alto Vale do Jequitinhonha diversos trabalhos vêm sendo realizados pela Universidade Federal de Lavras (Ufla) e pelo Centro de Agricultura Alternativa Vicente Nica (CAV), Turmalina, MG, pioneiro na implantação de SAFs, desde 1995.

Na região metropolitana de Belo Horizonte (Fig. 2) existe uma série de iniciativas de implantação de SAFs e mutirões agroflorestais.

Um trabalho realizado por Alves e Rodrigues (2018) demonstrou a distribuição espacial de SAFs<sup>6</sup> e sua densidade por área no território nacional (Fig. 3), a partir do processamento de dados georreferenciados

<sup>6</sup>Considerando apenas os sistemas com alta diversidade de espécies e interação entre os componentes, conforme o conceito de SAFs na Lei nº 12.651, de 25/5/2012 – Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b).





Paulo César Horta Rodrigues

Figura 2 - Sistema Agroflorestal (SAF)

Nota: Sítio das Mangueiras, propriedade de Lucas Machado.

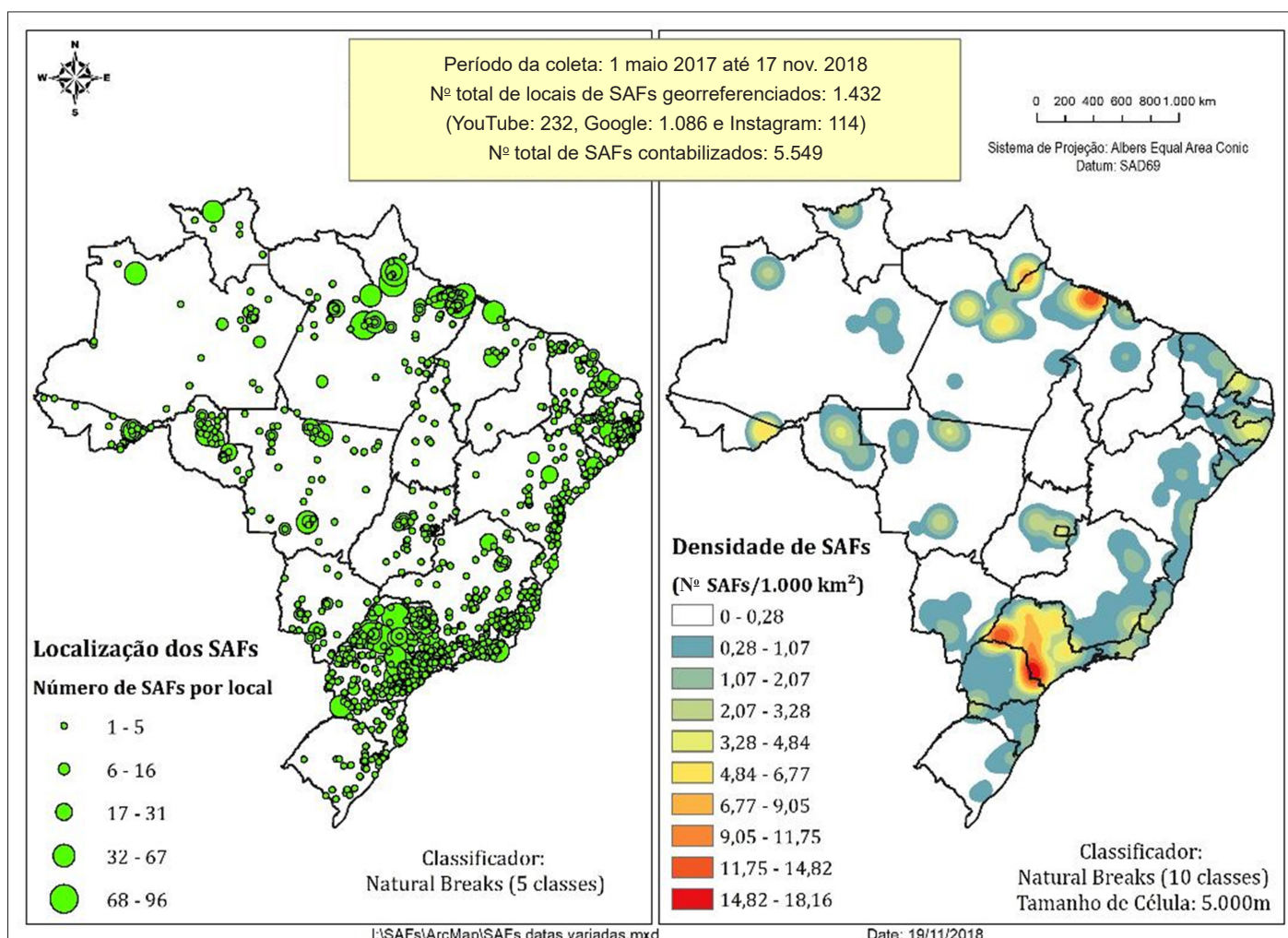


Figura 3 - Distribuição espacial dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) nos municípios brasileiros

Fonte: Alves e Rodrigues (2018).



e subsequente análise espacial coletados em plataformas de busca da Internet (Google), redes sociais (Instagram) e YouTube.

Com a atualização desses dados em novembro de 2018 (Fig. 3), o estado de São Paulo destacou-se por registrar o maior número absoluto de SAFs (1.809), dentre todas as 5.549 ocorrências nacionais. Na Região Norte, essa posição coube ao estado do Pará (961 SAFs); na Região Centro-Oeste, ao estado do Mato Grosso (236 SAFs); na Região Nordeste, ao estado de Pernambuco (198 SAFs) e, finalmente, na Região Sul, ao estado do Paraná (160 SAFs).

A partir desse levantamento especializado foi possível calcular o ranqueamento dos Estados por número de ocorrência de SAFs, quando ponderados pelas extensões territoriais das suas respectivas Unidades da Federação. A maior densidade territorial nacional coube, então, ao Distrito Federal (49,16%), seguido por Santa Catarina (7,37%), São Paulo (6,17%), Pernambuco (4,95%) e Sergipe (4,36%).

Já os dados preliminares do Censo Agropecuário de 2017 (CENSO AGROPECUÁRIO, 2018), ao considerar todos os sistemas de produção com base em consórcios ou combinações de espécies florestais variadas, produtivas ou não, com agricultura diversificada ou criação de animais (incluindo diversos sistemas de integração como o ILPF), apontou 491.400 estabelecimentos agropecuários com uso de SAFs, segundo esse critério, ocupando 13.930.307 ha, um aumento significativo em relação ao Censo de 2006 (CENSO AGROPECUÁRIO, 2007), quando foi realizado o primeiro levantamento desse tipo de sistema (305.826 estabelecimentos agropecuários ocupando 8.197.564 ha, em 2006), ou seja, um crescimento de, aproximadamente, 60 %, em 11 anos.

Embora com distribuição heterogênea pelo País, constatou-se que os SAFs ocorrem em todos os Estados da Federação, evidenciando boa aceitação pelos agricultores e sucesso em sua difusão. Apesar do incremento do número de SAFs,

segundo os dados do IBGE, não existem, atualmente, políticas públicas específicas para o estímulo de sua adoção no País. Por outro lado, várias políticas nacionais são voltadas à diversificação da produção pela agricultura familiar, com destaque para o Programa Nacional da Alimentação Escolar (PNAE), o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), que trouxeram oportunidades significativas de acesso a mercados para agricultores familiares em diversas regiões do Brasil (SOUZA-ESQUERDO; BERGAMASCO, 2014).

Apesar dessas iniciativas, percebe-se a necessidade de políticas de crédito rural, que visem estimular a expansão dos SAFs. Com a regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA), em todos os Estados, poderão surgir oportunidades para a implantação de políticas e planos para estimular a implantação de SAFs, visando à restauração de APPs e RL.

### **ARCABOUÇO LEGAL SOBRE OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Os SAFs têm sido difundidos como sistemas para a reintrodução do componente arbóreo no meio rural, visando à melhoria da conectividade na paisagem entre os fragmentos de vegetação nativa, o resgate da biodiversidade nativa, para a prestação de serviços ecossistêmicos, bem como econômicos, com enfoque na obtenção de produtos florestais madeireiros, frutíferos e hortaliças e geração de emprego e renda nas propriedades rurais (SCHROTH et al., 2004). Desde que bem planejados e conduzidos, podem subsidiar a adequação legal de propriedades rurais no que tange à presença do componente florestal, e tornarem-se alternativas viáveis de geração de renda aliadas à melhoria da paisagem, à restauração de ecossistemas florestais e à conservação da biodiversidade, incluindo as APPs e RLs.

De acordo com as novas regras, os imóveis rurais que estão em situação de déficit de APPs ou RL devem ser sub-

metidos a um processo de regularização ambiental. Segundo estimativas feitas por Soares-Filho et al. (2014), considerando o novo Código Florestal, o Brasil possui um déficit, de aproximadamente, 4,1 milhões de hectares em APPs ripárias e 16,3 milhões de hectares em RL. Em Minas Gerais, o déficit de APPs ripárias equivaleria a, aproximadamente, 620,7 mil hectares e a de RL equivaleria a 998 mil hectares (SOARES-FILHO et al. 2014). Já o Observatório do Código Florestal (2018) aponta para um déficit total de APPs, em Minas Gerais, equivalente a 3 milhões de hectares e, no Espírito Santo, o equivalente a 400 mil hectares.

Conforme dados da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), o estado de Minas Gerais possui, atualmente, mais de 700 mil imóveis cadastrados na base do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (Sicar), com 2,8 milhões de hectares de APPs declaradas, das quais apenas 48,2% com cobertura de vegetação nativa (SICAR, 2018).

Os dados apresentados abrem uma perspectiva de grande desafio e de várias oportunidades para a regularização ambiental, a qual envolve assistência técnica, transferência de tecnologia, capacitação, pesquisa e desenvolvimento sobre diferentes arranjos produtivos para SAFs e outros sistemas de restauração das APPs e RL, políticas mercadológicas, certificação, coleta de sementes, produção de mudas, além da necessidade de um arcabouço jurídico que auxilie na formulação, execução e monitoramento de políticas, programas e planos para a indução e apoio à implementação do PRA.

Os SAFs, por sua vez, proporcionam uma multifuncionalidade da paisagem, o que possibilita a integração do homem nos processos de restauração ecológica, além de gerar uma melhor relação custo-benefício, quando comparados a outros métodos convencionais (BRASIL, 2015). Entretanto, apesar dos benefícios citados, ainda há entraves regulatórios para implan-



tação destes sistemas em áreas de APPs e RLs. O Código Florestal – Lei Federal nº 12.651, de 25/5/2012 (BRASIL, 2012b) deixa expressa algumas oportunidades para implantação deste método de restauração nesses espaços, porém, ainda não há definições específicas sobre prazos, regras para a condução do sistema e o seu monitoramento. Dessa forma, fica ao encargo do órgão ambiental competente, em cada Estado, determinar os critérios e padrões aceitáveis para restauração, exploração e manejo dessas áreas protegidas pelos SAFs (MARTINS; RANIERI, 2014).

### **Novo Código Florestal e a Lei Mineira**

No Código Florestal, há uma referência aos SAFs para recomposição de APPs em áreas rurais consolidadas, e em imóveis rurais até quatro módulos fiscais, definindo-se como o plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% da área total a ser recomposta. Tal possibilidade também fica vigente para a recomposição de RLs, nesse caso, abrangendo todos os imóveis rurais. Também é autorizada, em áreas consolidadas, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, quando de uma tipologia de SAF. Outro componente importante dos SAFs, incluído na Lei Federal nº 12.651 (BRASIL, 2012b), é o seu manejo, sendo este caracterizado como atividade eventual ou de baixo impacto ambiental, quando a exploração agroflorestal for comunitária ou familiar, incluindo a extração de produtos florestais não madeireiros, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal nativa existente e nem prejudiquem a função ambiental da área.

No Decreto nº 7.830, de 17/10/2012, que dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, foram estabelecidas normas de caráter geral aos PRA, onde os SAFs acabam sendo conceituados.

Sistema de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas

agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes. (BRASIL, 2012a).

Já no contexto estadual mineiro, a Lei nº 20.922, de 16/10/2013 (MINAS GERAIS, 2013), que dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais, traz conceitos sobre APPs e RLs semelhantes ao do Código Florestal, assim como aspectos quanto à recomposição destas áreas. No Art. 16, por sua vez, a Lei inova e destaca os SAFs, de forma explícita, como método de recomposição, podendo ser implantados em até 50% da área a ser recomposta, desde que mantenham a finalidade da área, sem discriminar o tamanho da área ou o corte até quatro módulos fiscais. Inclui, portanto, os pequenos, médios e grandes proprietários.

### **Regulamentação do PRA e normatização do SAF**

O novo Código Florestal criou um processo de regularização de posses e propriedades rurais com base no PRA, composto por três instrumentos administrativos institucionais: o Cadastro Ambiental Rural (CAR); o Plano de Regularização de Áreas Degradadas (Prada); e a assinatura de um Termo de Compromisso (TC), que proporcionam uma segurança jurídica ao produtor e ao órgão ambiental.

A consolidação de tais instrumentos é uma forma de definir um processo claro de adequação, trazendo previsibilidade e segurança para implantação e mensuração do resultado de políticas públicas. Dos imóveis cadastrados em Minas Gerais, apenas 57,2 % possuem requerimento de adesão ao PRA, uma realidade que se justifica pela falta de conhecimento e capacitação sobre o que seria este programa e quais os impactos para os proprietários.

Diante desses números, foi iniciado, em 2018, o processo de elaboração do marco regulatório para construção do decreto do PRA, em Minas Gerais, com a realização de quatro encontros para discussão e validação

do PRA, envolvendo entidades da sociedade civil, da pesquisa, do ensino e extensão, de ONGs, de Fundações e outros órgãos do Estado, incluindo temas como os possíveis regimes de adequação pré e pós 22/7/2008, os métodos de compensação, dentre estes, a Cota de Reserva Ambiental (CRA) e os métodos de restauração florestal e mecanismos e ferramentas de monitoramento.

Com o objetivo de construir uma legislação estadual para os SAFs no estado de Minas Gerais, instituiu-se um grupo de trabalho, para ter uma proposta de ato normativo, pela qual sejam definidos critérios e procedimentos para implantação desses SAFs. Para isto, foram realizados dois Seminários sobre SAFs e Recuperação Ambiental, com a participação de várias entidades e de produtores rurais.

Portanto, está sendo proposta uma legislação mais focada na aferição ecológica do sistema ao final do prazo de recomposição das APPs e RL, que ofereça um processo menos engessado e mais próximo da realidade dos proprietários rurais. Este arcabouço legal pretende ser o início de um processo de construção de políticas, planos e programas de indução e apoio em torno dos SAFs, envolvendo a difusão e a capacitação de agricultores, produtores e técnicos.

Restaurar Matas Ciliares por meio da implantação de SAFs não só possibilita um dinâmico processo de reintrodução de espécies arbóreas nativas para cumprir o papel de proteção das nascentes e os mais diversos corpos d'água, mas também permite a geração de renda. A partir de experiências bem-sucedidas dos arranjos produtivos nos SAFs, estes podem ser expandidos para além das APPs, proporcionando um manejo do solo, água e biodiversidade mais eficaz, melhorando, como consequência, a gestão dos recursos hídricos.

### **SISTEMAS AGROFLORESTAIS E RECURSOS HÍDRICOS**

A agricultura representa, pela natureza de sua atividade, um empreendimento que pode demandar elevados volumes de água



(alguns produtos são sensíveis à falta de água, e a criação de animais também demanda grandes quantidades de água tanto para a manutenção do rebanho, como para a fase de abate, preparo agroindustrial dos cortes e oferta de produtos derivados, tais como leite e ovos).

Segundo Rodrigues (2017), a agricultura no mundo utiliza em média 70% das águas retiradas. No Brasil, o percentual médio de água retirada para irrigação representa, aproximadamente, 54%, para o abastecimento humano 25% e para a indústria 17%. Essas proporções diferem entre as regiões hidrográficas, refletindo as diferenças nos padrões climáticos e socioeconômicos. Vale ressaltar que o uso da água pelo setor de Geração de Energia não é considerado como usuário consuntivo; contudo, a água armazenada nos reservatórios das barragens evapora em quantidades significativas, ficando indisponível para outros usos (sua inclusão modificaria a proporção utilizada por outros setores). As águas públicas que precisam de tratamento e distribuição têm uma repartição diferente. Aproximadamente 60% desta água é utilizada para fins domésticos, 15% para fins comerciais, e 13% para as indústrias, o restante, para fins públicos e outras necessidades (JACOBI, 2009; REBOUÇAS et al., 2006 apud PRIMAVESI, 2013).

O ambiente para a produção agrícola será cada vez mais dinâmico e restritivo, e demanda do produtor uma visão mais abrangente, considerando a resiliência dos sistemas de produção e o uso racional dos recursos naturais, com destaque para o manejo dos recursos hídricos. Ainda, segundo Rodrigues (2017), a abordagem de usos múltiplos da água requer uma atuação integrada dos diversos setores que concorrem pelo seu uso. Apesar do Brasil reter 12% de água doce superficial disponível no Planeta, observa-se o crescimento de conflitos pelo uso da água. Segundo o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA) (CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL, 2013), dos 104.791 km de

rios federais, 16% encontram-se em estado considerado crítico em relação ao balanço quali-quantitativo.

É importante pontuar que eventuais crises de água não são consequências apenas de fatores climáticos, mas também da gestão da oferta e demanda dessa água, incluindo a adoção de práticas conservacionistas tanto do solo quanto da água em toda a bacia hidrográfica, a implantação de sistemas mais eficazes no uso e conservação dos recursos hídricos, a diminuição de desperdícios no consumo e perdas na distribuição.

Segundo Primavesi (2013), a captação de águas pluviais pela bacia hidrográfica vai depender da capacidade de armazenamento do solo e da cobertura vegetal (interceptação), da permeabilidade do solo, da presença de estruturas de armazenamento (lagos, veredas, pântanos, reservatórios artificiais) e do seu grau de assoreamento, da evapotranspiração e da distribuição e intensidade de chuvas.

Já os SAFs, quando conduzidos em modelos agrícolas policulturais e sucessionais, preconizam também um ininterrupto aporte de matéria orgânica (MO), com fins de assegurar tanto a proteção física do solo como o fornecimento contínuo de nutrientes biodisponibilizados. Esse arranjo reduz a evaporação da água do solo, representando uma vantagem complementar, quando comparado às práticas convencionais sem a preocupação com a cobertura permanente do solo. Há registros de SAFs que alcançam uma redução de até 90% da demanda de água, viabilizando cultivos por vezes sem qualquer necessidade de irrigação. Mesmo em cenários agrícolas, onde não são alcançados índices tão altos de redução da demanda hídrica, é inquestionável a manutenção mais prolongada da umidade do solo, quando em desenhos agroflorestais, especialmente em sistemas mais diversificados.

Independentemente do método agrícola de cultivo, a irrigação, quando necessária, precisa ser viabilizada ou pela captação de água superficial (de rios ou reservatórios) ou pela água subterrânea, por meio de poços tubulares. A decisão por um

ou outro tipo de captação dependerá da disponibilidade hídrica de cada um desses sistemas e dos custos associados. Cabe ressaltar que as águas subterrâneas profundas (aquíferos) representam, com raras exceções, águas de alta qualidade, o que nem sempre ocorre no caso dos recursos hídricos superficiais.

## AQUÍFEROS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Quando a água de superfície, como a de rios, não for suficiente para suprir qualquer atividade humana, incluindo a agricultura irrigada, é inevitável a utilização das águas subterrâneas, as quais, são, obrigatoriamente, águas pluviais infiltradas em solo e rocha. A água subterrânea, por sua vez, é renovada apenas numa época do ano, porém, pode ser extraída o ano todo, desde que o reabastecimento seja adequado e a fonte esteja protegida de contaminação, e que a sua retirada seja igual ou inferior à taxa de recarga. A degradação das fontes superficiais de água doce e a retirada intensa de água subterrânea podem ter efeitos profundos para a população e para as atividades econômicas (PRIMAVESI, 2013).

As águas de aquíferos são recursos hídricos valiosos e funcionam como reservas estratégicas. Portanto, deveriam ser utilizadas em casos de absoluta indisponibilidade de mananciais superficiais, mas sempre sob continuado monitoramento, de forma que não ultrapasse a sua capacidade de recarga, para evitar o risco de sobre-exploração do aquífero.

Os aquíferos nacionais foram identificados e classificados pelo Serviço Geológico do Brasil quando da geração do Mapa Hidrogeológico do Brasil na escala 1:1 milhão (CPRM, 2014). Esse mapeamento seguiu o enquadramento dos aquíferos em um dos três tipos clássicos: fissural, poroso/granular ou cárstico. No âmbito de cada um, esses tipos foram hierarquizados em seis classes, sendo a classe 1 para aqueles com as melhores características hidráulicas em oposição aos de classe 6, com as pio-



res (Fig. 4). Observa-se que as tipologias fissural e cárstico não ocorrem na classe 1, pois nunca se equiparam àquelas formações hidrogeológicas com as melhores características hídricas do tipo Granular.

A distribuição areal desses aquíferos no território nacional está representada na Tabela 1.

Em Minas Gerais, os percentuais de ocorrência desses aquíferos diferem

consideravelmente do cenário nacional, na Figura 5 e na Tabela 2: aquíferos de classe 3, por exemplo, ocorrem com menor frequência em Minas Gerais, em relação ao território nacional; já os de classe 4 e 5,

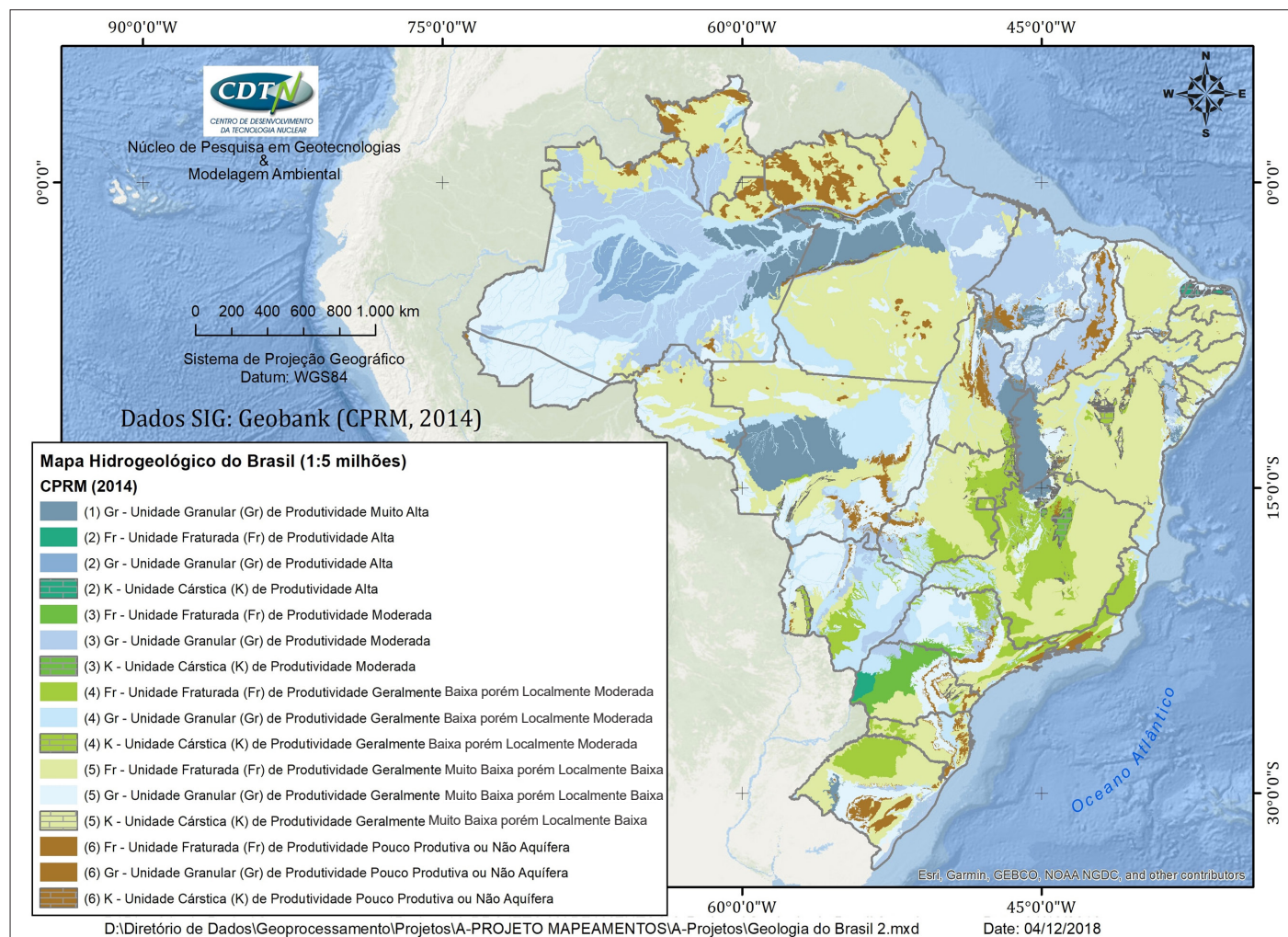


Figura 4 - Mapa Hidrogeológico do Brasil

Fonte: CPRM (2014).

Nota: SIG - Sistema de Informações Geográficas.

Tabela 1 - Porcentual de distribuição dos aquíferos por tipo e classe no Brasil

Classe	Granular (km <sup>2</sup> )	Fissural (km <sup>2</sup> )	Cárstico (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Brasil (%)
1	562.258	0	0	562.258	6,6
2	131.601	12.823	11.908	156.332	1,8
3	1.331.063	69.065	16.302	1.416.431	16,7
4	1.130.049	483.712	65.232	1.678.993	19,7
6	1.130.689	2.961.087	12.214	4.303.990	50,6
5	139.688	236.818	8.128	384.634	4,5
Total	4.625.348	3.763.505	113.785	8.502.638	100,0

Fonte: CPRM (2014).

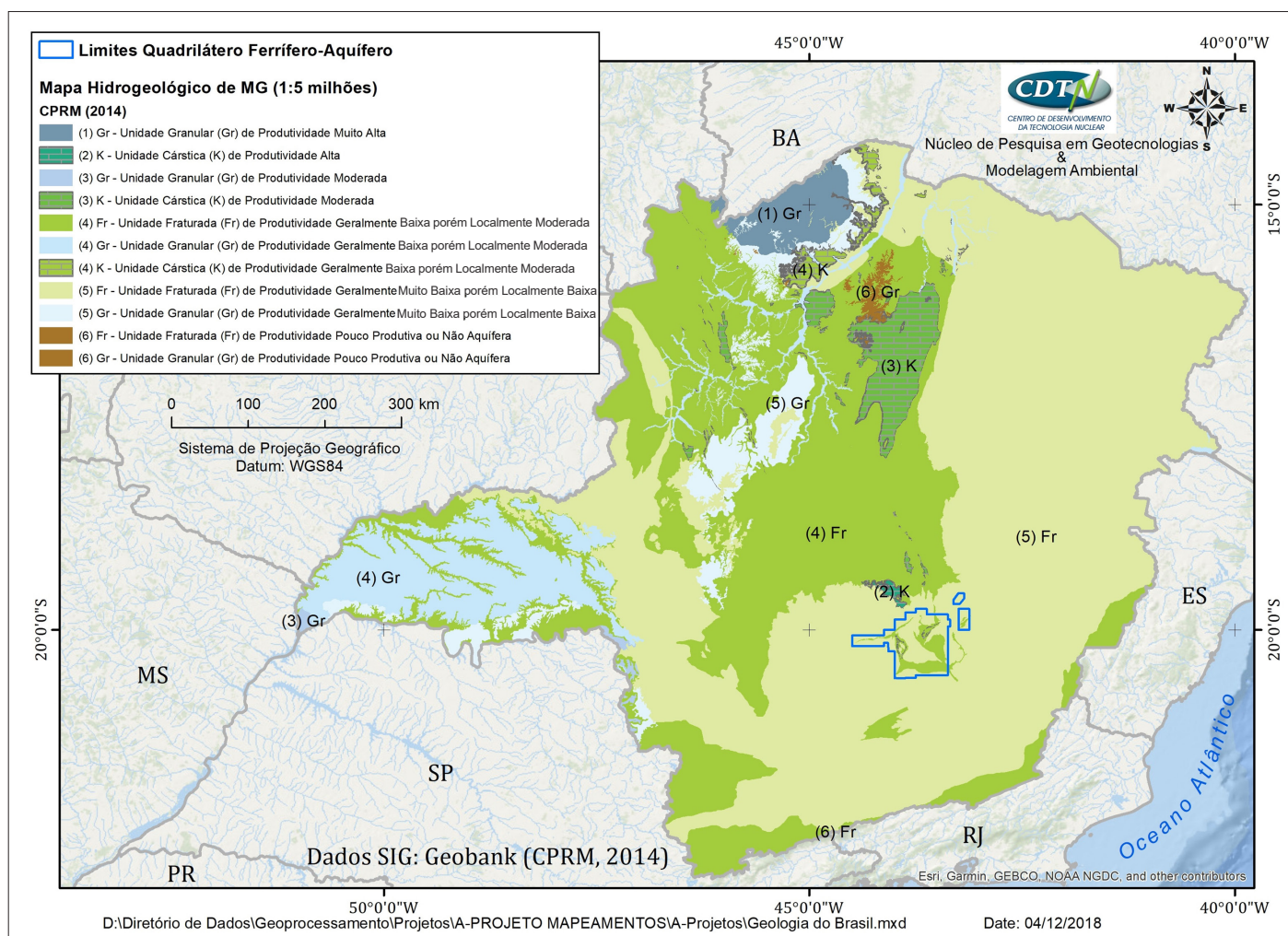


Figura 5 - Mapa Hidrogeológico de Minas Gerais

Fonte: CPRM (2014).

Nota: SIG - Sistema de Informações Geográficas.

Tabela 2 - Porcentual de distribuição dos aquíferos por tipo e classe em Minas Gerais

Classe	Granular (km <sup>2</sup> )	Fissural (km <sup>2</sup> )	Cárstico (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Minas Gerais (%)
1	10.875	0	0	10.875	1,9
2	0	0	571	571	0,1
3	1.478	0	15.960	17.438	3,0
4	42.296	180.672	4.079	227.047	38,7
6	23.854	304.535	0	328.389	56,0
5	2.204	1,4	0	2.205	0,4
Total	80.707	485.209	20.610	586.525	100,0

Fonte: CPRM (2014).

formações hidrogeológicas de menor capacidade hidráulica, ocorrem em território mineiro com maior frequência que na média nacional. Isso significa dizer que o estado de Minas Gerais apresenta

aquíferos em cenários de características hidráulicas consideravelmente piores que a média brasileira. Uma pequena melhoria de cenário ocorre somente quando se analisam os aquíferos do tipo cárstico, os quais

ocorrem em Minas Gerais em melhores classes que a média nacional (Tabela 1 e 2). Entretanto, essa tipologia de aquíferos está presente em baixas frequências tanto no Brasil como em Minas.

No caso específico da região do Quadrilátero Ferrífero (QF), onde, em consequência do interesse econômico e da concentração populacional, foram disponibilizados mapeamentos em escalas com maior detalhe – 1:50 mil (LOBATO et al., 2005), é possível identificar aquíferos de classe 2 nos topos de morro, quando considerados os parâmetros hidráulicos da literatura especializada para essa região (MOURÃO, 2007). Essas formações hidrogeológicas, o aquífero Cauê, são compostas por rochas ricas em minério de ferro, objeto há décadas de extração econômica – o itabirito Cauê (homônimo, portanto do aquífero). Por suas características geológicas, o aquífero Cauê reúne tanto características porosas, quanto fissurais, o que lhe confere funcionalidades hídricas muito raras e de destaque nos cenários estadual e nacional. Quando contextualizados no mapa nacional de aquíferos (Fig. 4), observa-se que essa classe ocorre em apenas 0,1% do território mineiro, ou seja, em Minas Gerais os melhores aquíferos, segundo o enquadramento no mapa nacional, ocorrem na região do QF, localizados em topos de morro, infelizmente no mesmo espaço físico que o minério de ferro.

Outras características geológicas, pluviométricas e geográficas da formação Cauê corroboram essa excepcional situação de riqueza das águas para as regiões ainda preservadas do QF. No Quadro 1, estão reunidos diversos desses fatores naturais que asseguram, quando ocorrem simultaneamente, essa grande disponibilidade hídrica. As cangas lateríticas (formações ferruginosas bem mais recentes que o minério de ferro, as quais se caracterizam por apresentar grande resistência física, mas altas porosidade e permeabilidade), situadas em topo de morro, funcionam como um forte promotor da infiltração hídrica, enquanto o aquífero Cauê atua simultaneamente como área de recarga e

Quadro 1 - Fatores naturais que asseguram, quando ocorrem simultaneamente, essa grande disponibilidade hídrica

Condicionantes simultâneas	Fenômeno natural correspondente	Agente físico-químico responsável
Disponibilidade hídrica	Chuva	Pluviosidade farta
Recarga hídrica	Grande infiltração direta em Zonas de Recarga (APP - Topo de Morro)	Cangas Ferruginosas
Recarga hídrica	Grande infiltração (in) direta em Zonas de Recarga (APP - Topo de Morro)	Itabirito Cauê
Acumulação hídrica	Grande porosidade intersticial e grande espessura (até 400 m)	Itabirito Cauê
Circulação hídrica	Grande porosidade fissural e grande espessura (até 400 m)	Itabirito Cauê
Forte inclinação das camadas	Aquífero elevado mas com circulação hídrica muito profunda (até 1.000 m)	Itabirito Cauê
Excelente potabilidade	Baixa concentração de minerais de intemperismo do Geossistema Canga-Itabirito	Baixos teores de íons salinos e argilominerais

Fonte: Paulo César Horta Rodrigues.

Nota: APP - Área de Preservação Permanente.

Cangas Ferruginosas e Itabirito Cauê são Geossistemas Hidro-Ferruginosos.

grande reservatório (com profundidades acima de um quilômetro), compondo um Geossistema Hidroferruginoso<sup>7</sup>.

Os dados do Sistema de Informações Geográficas (SIG), de Lobato et al. (2005) para o QF, quando associados às informações hidrogeológicas de produtividades hídrica (MOURÃO, 2007; SILVA; SOBREIRO NETO; BETARCHINI, 1994) e às unidades hidrogeológicas do mapeamento da Área de Proteção Ambiental – APA Sul Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) (BEATO; MONSORES; BERTACHINNI, 2005) revelam dois cenários muito distintos (Fig. 6).

a) sistema de aquíferos de circulação hídrica profunda, com grande capacidade de resiliência hídrica, capaz de manter os caudais em volumes praticamente estáveis ao longo de todo o ano;

b) sistema de circulação hídrica rasa, assegurando níveis de água consideráveis somente enquanto houver aporte direto de água de chuva ou enquanto for abastecido pelas águas dos aquíferos profundos, originárias dos topos de morro.

Silva et al. (1994) mencionam que a formação ferrífera Cauê responde sozinha por 80% das águas dos aquíferos de circulação hídrica profunda de todo o QF. Por essa razão, a expressão Quadrilátero Ferrífero vem sendo substituída por Quadrilátero Ferrífero-Aquífero (QFA), por vários grupos conservacionistas.

Os topos de morro do QFA compõem as Zonas de Recarga Hídrica direta da Bacia do Alto Rio das Velhas e, parcialmente, das Bacias do Rio Paraopeba (a oeste) e Rio Piracicaba (a leste), os quais são grandes tributários de duas importantíssimas bacias

<sup>7</sup>O conceito de Sistema Ferruginoso, relativo à associação ecossistêmica das cangas com o itabirito Cauê, foi empregado pela primeira vez por Jacobi et al. (2015).

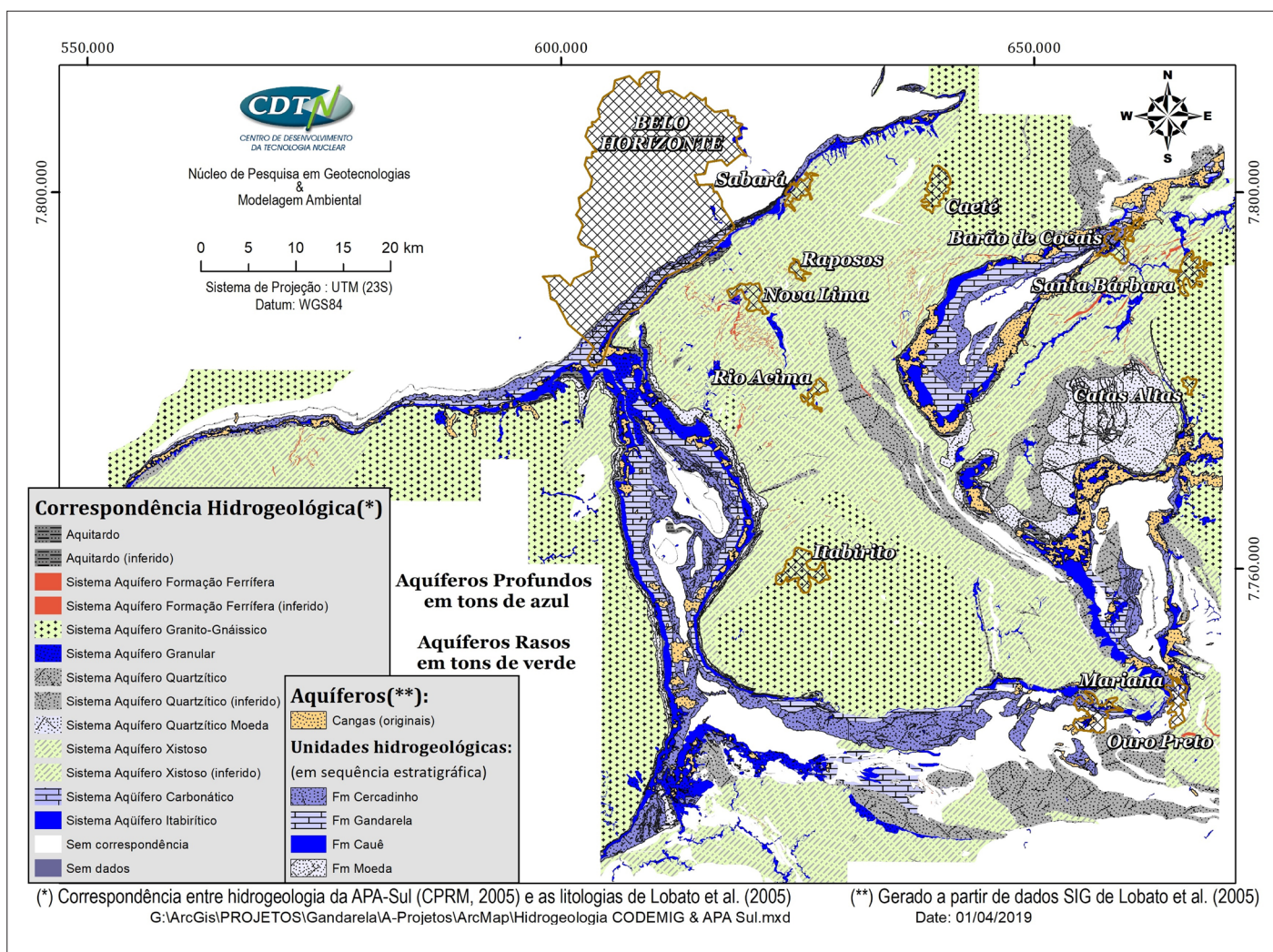


Figura 6 - Mapa da distribuição espacial dos Aquíferos Profundos e Rasos do Quadrilátero Ferrífero (QF)

Fonte: Beato, Monsorens e Bertachinni (2005) e Lobato et al. (2005).

Nota: Quanto mais forte o tom de azul, mais importante é o aquífero.

hidrográficas mineiras e nacionais: Rio São Francisco (Rio das Velhas e Paraopeba) e Rio Doce (Rio Piracicaba), conforme Figura 7.

Esse estratégico cenário do QFA no contexto da segurança hídrica da região comprova-se a partir das captações de água para abastecimento público, advindas das zonas de recarga de suas montanhas, em especial na estação de captação e tratamento de água (ETA) de Bela Fama (município de Nova Lima), localizada no centro do Quadrilátero, próximo ao exutório da Bacia do Alto Rio das Velhas, no município de Sabará (Fig. 8). Essa estação responde sozinha pelo abastecimento de cerca de 2,4 milhões de cidadãos da RMBH, a partir

de cálculos com base nos percentuais de abastecimento da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2013).

Assim, se por um lado o QFA destaca-se pela sua inquestionável importância hídrica, por outro, é palco de grande conflito de interesses, onde se confrontam as atividades de extração do minério de ferro, expansão urbana e a preservação dos aquíferos profundos e suas zonas de recarga.

A relevância dessas áreas de recarga hídrica, quando localizadas no flanco leste do QFA, assume um significado ainda maior a partir do inmensurável desastre social e hidroambiental causado pela mineradora Samarco, das mineradoras Vale S.A. e

BHP Billiton, com o rompimento da bacia de rejeito de minério de ferro de Fundão, em novembro de 2015. Essas zonas de recarga, em especial na região da Serra do Gandarela, quase totalmente preservada, têm um papel preponderante para a segurança hídrica tanto para inúmeros municípios da RMBH, como para a gravemente impactada Bacia do Rio Doce.

### BACIA DO RIO DOCE

A Bacia do Rio Doce possui uma extensão de 879 km, contempla os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e tem 98% de sua área inserida no bioma de Mata Atlântica. O histórico desse terri-

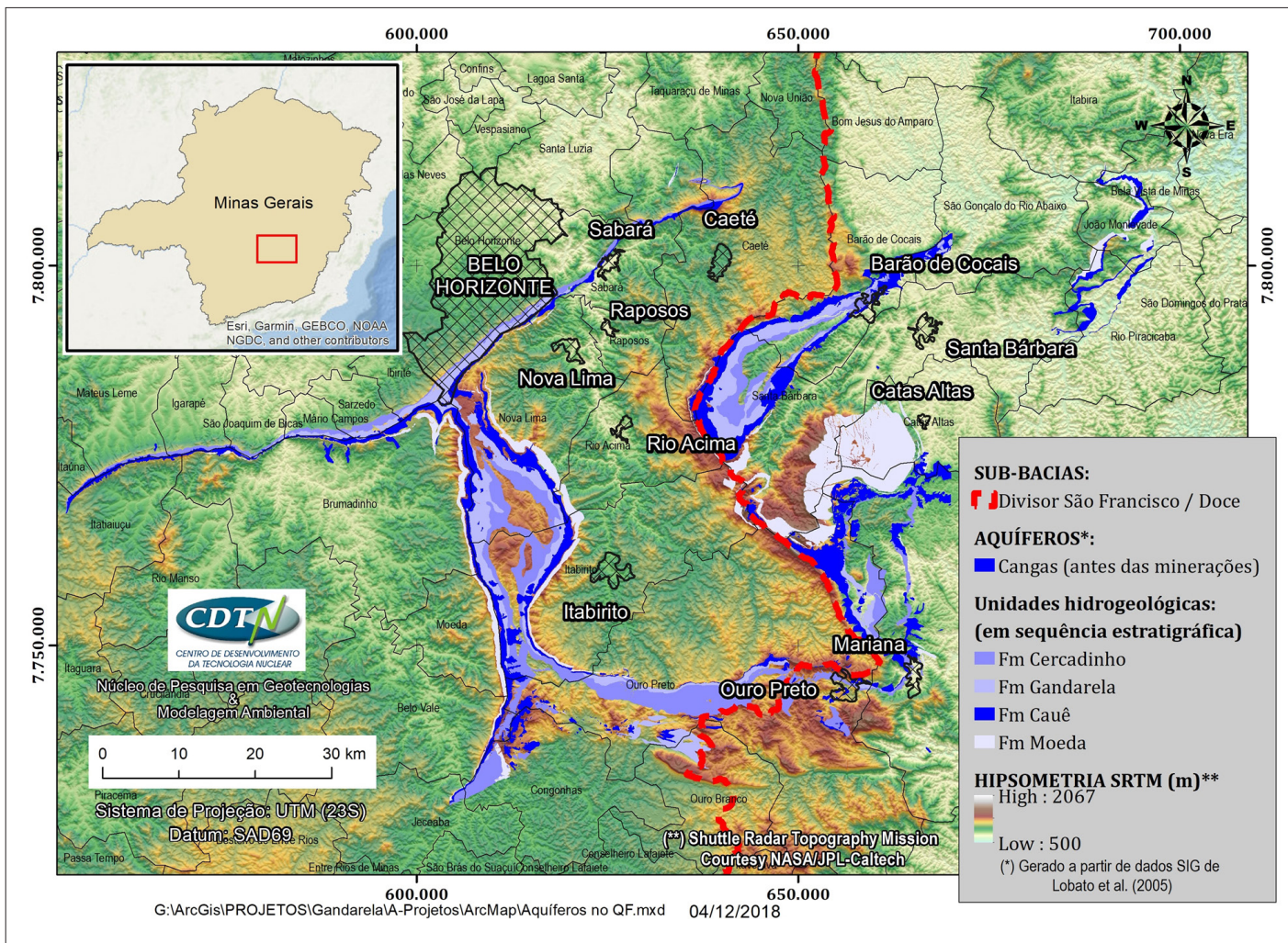


Figura 7 - Mapa dos Aquíferos Profundos do Quadrilátero Ferrífero-Aquífero (QFA) e seu contexto nas Bacias Hidrográficas do Paraopeba, Velhas e Doce

Fonte: Lobato et al. (2005).

Nota: SIG - Sistema de Informações Geográficas.

tório é de degradação local do solo e do uso inadequado dos seus recursos, como a água. Em 2015, com o rompimento da barragem de Fundão (mineradora Samarco), localizada no município de Mariana, tal cenário agravou-se. De acordo com Pires et al. (2017), entre 40 e 63 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos, oriundos da mineração, foram dispostos no rio e em muitas de suas planícies de inundação. Além da destruição total ou parcial dos distritos de Bento Rodrigues, Paracatu e Gesteira, ocorreram perdas na biodiversidade, perdas econômicas para as populações ribeirinhas, indígenas, e uma poluição intensa de todo o Rio Doce com profundas

repercussões para muito além de sua calha e planície de inundação.

Os efeitos da tragédia sobre a flora e os habitats aquáticos foram graves e provavelmente se repercutem em toda a bacia hidrográfica. O assoreamento dos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e parte do Rio Doce até a barragem de Candonga (numa extensão de 77 km), comprometeu APPs nas suas faixas marginais. Uma área de 1.587 ha foi fortemente impactada nesse trecho, dos quais 511,08 ha de Mata Atlântica. As modificações, registradas no curso das bacias, causadas pela enxurrada de lama, foram degressivas, alterando o curso do rio e, com isso, a sua dinâmica fluvial (FERNANDES et al., 2016).

Tais impactos podem ser vistos numa análise de dados de refletância de superfície em imagens Landsat-8, a partir das análises espaciais desenvolvidas, conforme os protocolos da equipe do GeoForschungsZentrum (GFZ) (MIELKE et al., 2015). Foi identificada uma perda significativa de vegetação e deposição de rejeitos com alta concentração de ferro ao longo do Rio Doce (Fig. 8).

### Programas de restauração relacionados com as APPs na Bacia do Rio Doce

Diante de tal contexto, alguns instrumentos de recuperação da Bacia do Rio Doce já se fazem presentes. Por meio da



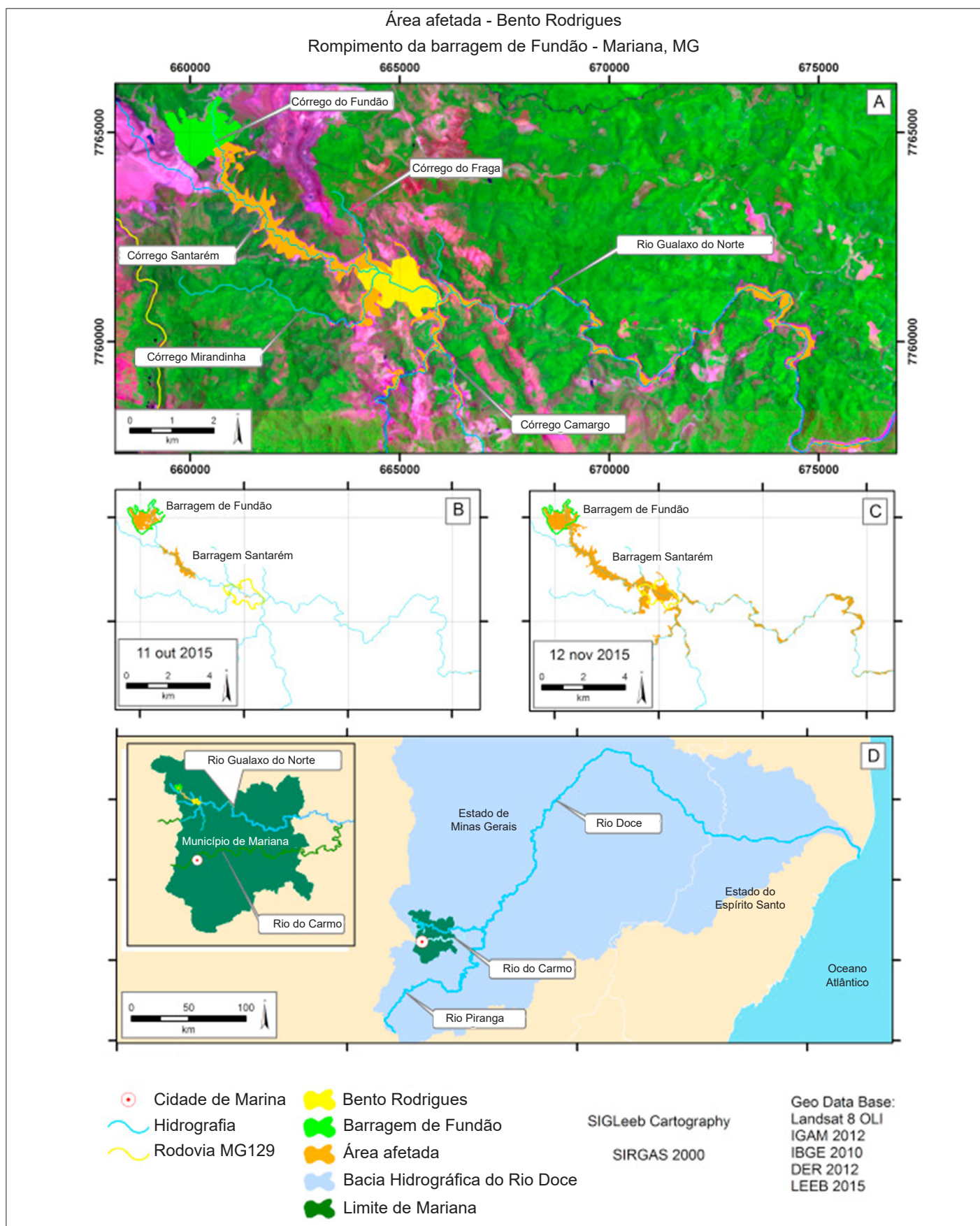


Figura 8 - Área afetada pelo rompimento da Bacia de Rejeito de Minério de Ferro de Fundão

Fonte: Fernandes et al. (2016).

consolidação de um termo de ajustamento de conduta entre a Samarco Mineração, as acionistas Vale e BHP Billiton, os Órgãos Estaduais de Minas Gerais e do Espírito Santo e o Órgão Federal, foi criada a Fundação Renova, cuja missão visa implementar e gerir os programas de reparação dos impactados com o rompimento da barragem de Fundão. Em que pesem as controversas ações institucionais da Fundação Renova, destaca-se a de recuperação das APPs com uma meta de 40 mil hectares dos quais 10 mil hectares que deverão ser restaurados por meio de reflorestamento e 30 mil por meio de regeneração natural. Dentre os métodos a ser escolhidos destaca-se o plantio com fins econômicos, na modalidade SAFs.

Como esta área representa uma proporção muito pequena da Bacia do Rio Doce, foram realizados estudos a partir de março de 2018, conduzidos pela UFV e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), para a priorização de áreas e verificação dos métodos de restauração florestal mais indicados em cada área.

### Ferramentas e metodologias para a identificação de áreas com maior potencial/aptidão para a implantação dos SAFs

A restauração de paisagens florestais é um processo de longo prazo que visa à recuperação da funcionalidade ecológica e à melhoria das condições de vida dos seres humanos, sobretudo em áreas onde o capital natural foi dilapidado. No processo de identificação das áreas com maior aptidão para os SAFs foi dado um enfoque nas vocações territoriais, a partir do cruzamento de informações agrícolas, florestais e turísticas (NASCIMENTO, 2005). Por se tratar de um sistema altamente complexo, foram levantadas múltiplas vocações produtivas, ambientais e de lazer, da paisagem. São inúmeras as variáveis envolvidas em cada uma dessas vocações, o que pode tornar um desafio para o ranqueamento e a priorização das áreas. Para tanto, foram utilizadas metodologias de modelagem ambiental, destacando a Análise dos Componentes

Principais (ACP) e seu agrupamento em clusters (K means), permitindo identificar o perfil produtivo e associá-lo ao perfil socioeconômico.

Para compreender a vocação agroflorestal da Bacia, foram consideradas projeções do uso do solo nesse território. Foi utilizada, então, uma ferramenta metodológica para identificar os diferentes usos, o Otimizagro (versão atualizada do SimAmazonia/SimBrasil). Esse modelo simula o uso e a mudança de uso do solo, o desmatamento, a regeneração e as emissões associadas de acordo com diversos cenários de demanda agrícola e legislação ambiental (SOARES FILHO et al., 2016). Apesar da diversidade de cultivos na Bacia do Rio Doce, há um predomínio de pastagens ao longo de todo o território, e da silvicultura principalmente na Sub-bacia do Rio Piranga, evidenciando uma tendência para a implantação de Sistemas Agrossilvipastoris. Analisando a Figura 9, alguns cultivos também se destacam na Bacia como o café (Arábica e Robusta), milho, feijão e banana.

No contexto da Bacia do Rio Doce, a agricultura, base para o sustento de diversas famílias residentes neste território, apresenta baixos níveis de produtividade agrícola e uma dinâmica socioeconômica que contribui para o agravamento dos problemas hídricos e ambientais (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE, 2003). Por esta razão, a implantação de SAFs de forma planejada pode, além de oferecer uma alternativa para solucionar os passivos ambientais nas APPs e RLs, propor uma estratégia de maximização da produção associada a uma maior conservação e restauração dessas áreas degradadas.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As APPs cumprem um papel importantíssimo para os ecossistemas aquáticos, garantindo habitat para animais, provisionando fontes de alimento para os peixes e gerando sombra, dentre outros serviços ambientais. Sua proteção evita o pisoteio dos animais no

curso d'água, protege parcialmente de um eventual assoreamento, em consequência do carreamento de sólidos e do escoamento superficial das chuvas e enxurradas. Porém, a regularização hídrica dos cursos d'água depende do manejo e do estado de conservação de toda a área de captação das chuvas, garantindo a infiltração e evitando o escoamento superficial desproporcional. Os SAFs são preconizados como uma solução alternativa para a recuperação de áreas degradadas e proteção dos mananciais hídricos, apresentando vantagens em relação a outros métodos, tanto ambientais como econômicas.

É relevante mencionar que os suportes técnico e econômico para os SAFs requerem uma avaliação multidisciplinar e regionalizada, levando-se em conta um planejamento que considere as aptidões locais agrícolas e de escoamento de produção e a disponibilidade de mão de obra.

Existe o respaldo legal para a utilização de SAFs na esfera da conservação socioambiental, bem como o uso dessas práticas em consonância com os objetivos das áreas legalmente protegidas. Inclusive, é importante ressaltar a dinâmica política atual no estado de Minas Gerais em torno da difusão e promoção dos SAFs como método de restauração florestal também de APPs e RLs, seja por meio do marco regulatório do PRA, seja por meio de uma normativa específica para implantação de SAFs em APPs e RLs.

Cabe ressaltar que no caso das áreas do QFA impactadas pela destruição dos aquíferos profundos, a dinâmica hidrogeológica não poderá ser recuperada pela implantação de SAFs, já que esses sistemas atuam somente na recomposição de aquíferos freáticos, sempre superficiais. Portanto, na região do Quadrilátero Ferrífero-Aquífero a resiliência hídrica depende fundamentalmente da preservação dos aquíferos hídricos profundos, representados pela formação Cauê, que, infelizmente, vem sendo impactado há décadas e continua sendo ameaçado pelas atividades de exploração do minério de ferro (principalmente), sejam por minas em



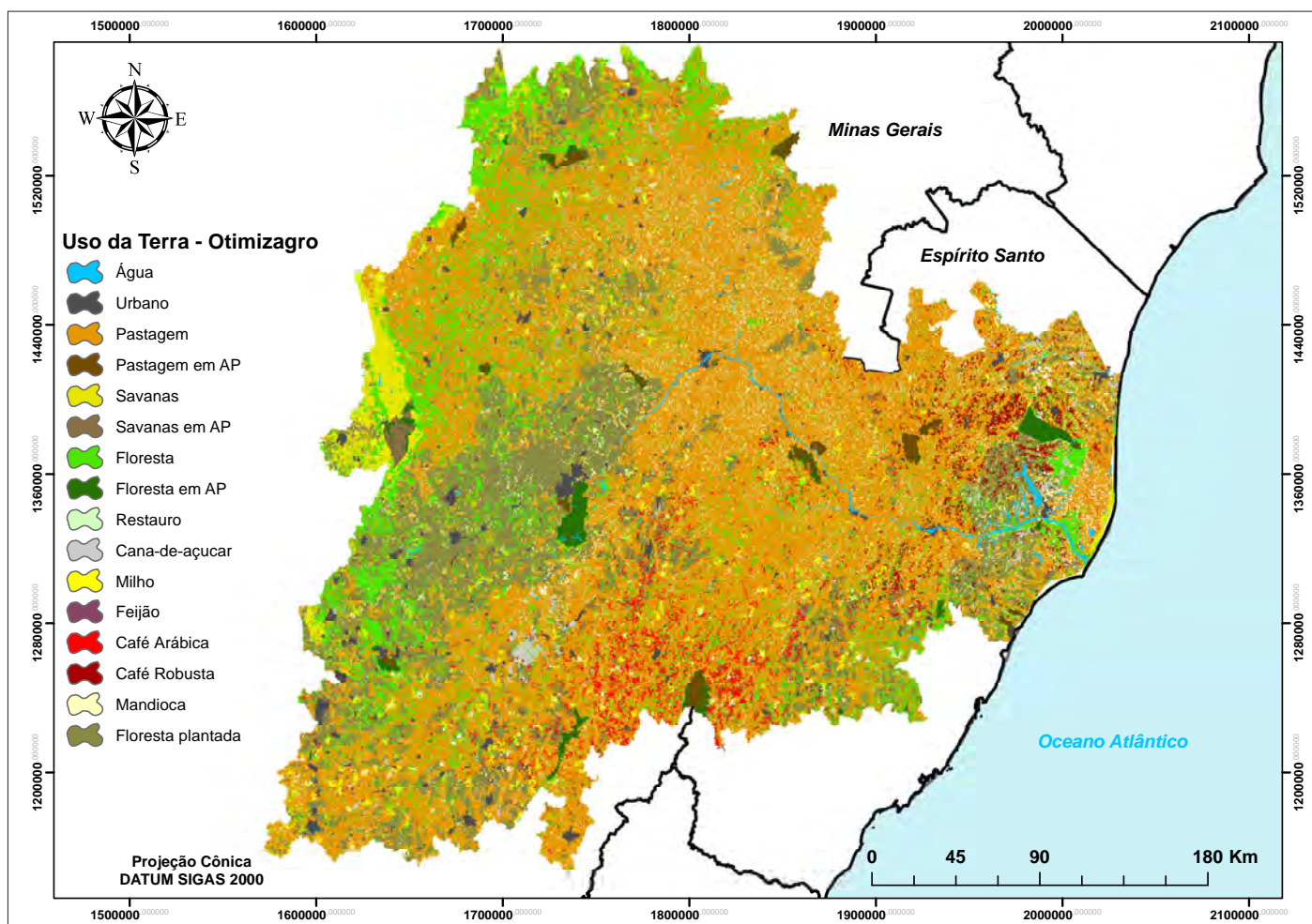


Figura 9 - Uso e ocupação da Bacia do Rio Doce, segundo o Sistema Otimizagro

Fonte: Soares Filho et al. (2016).

Nota: AP - Área Protegida.

atividade, sejam por projetos minerários ainda não licenciados. No caso do Rio Doce surgem ainda dúvidas, se os SAFs poderão ser efetivamente implantados nas áreas impactadas pela lama proveniente do rompimento da barragem de Fundão, da empresa Samarco.

Por fim, investimentos em pesquisa, no conhecimento e no monitoramento da diversidade de espécies, da densidade de árvores, nas análises de custos vinculados à produção, transformação e comercialização, e de produtividade serão imprescindíveis para a consolidação e a ampliação da implantação de SAFs no território brasileiro, visando ao aumento da resiliência dos Sistemas de Produção Agrossilvipastoris, da conservação da água, da fertilidade do solo e da biodiversidade.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.C. et al. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, Belo Horizonte, v.31, n.257, p.59-67, jul./ago. 2010.
- ALVES, S.F.; RODRIGUES, P.C.H. Distribuição espacial de Sistemas Agroflorestais no Brasil a partir da coleta de dados da internet. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 11., 2018, Aracaju. [Anais...] Aracaju: SBSAF, [2018].
- BEATO, D.A.C.; MONSORES, A.L.M.; BERTACHINI, A.C. **Projeto APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: CPRM, 2005. 101p. v.8: Texto explicativo – hidrogeologia. Programa GATE Informações para a Gestão Territorial.

BRASIL. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 dez. 2012a.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 maio 2012b.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O bioma Cerrado**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: nov. 2018.
- CARDOSO, I.M. et al. Continual learning for Agroforestry System design: university, NGO, and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agricultural System**, v. 69, p.235-257, Sept. 2001.
- CENSO AGROPECUÁRIO 2006: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/49/agro\\_2006\\_resultados\\_preliminares.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/49/agro_2006_resultados_preliminares.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- CENSO AGROPECUÁRIO 2017: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, [2018]. Disponível em <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultados\\_agro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultados_agro/index.html)>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- CHANDLER, M.T. Las tierras desperdiciadas, el programa de trabajo del ICRAF. In: TALLER SISTEMAS AGROFLORESTALES EN AMERICA LATINA, 1979, Turrialba. **Actas...** Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1979. p.7-8.
- COMBE, J.; BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas agroforestales: una revisión de literatura. In: TALLER SISTEMAS AGROFLORESTALES EN AMERICA LATINA, 1979, Turrialba. **Actas ...** Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1979. p.17-48.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. **Agenda Rio Doce**: proposta para o Planejamento Estratégico da Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - GT CBH-DOCE - 1ª fase. Governador Valadares, 2003. 39p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/1386301-Agenda-rio-doce-proposta-para-o-planejamento-estrategico-da-gestao-dos-recursos-hidricos-da-bacia-hidrografica-do-rio-doce-gt-cbh-doce-1a-fase.html>>. Acesso em: 28 nov. 2018.
- CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL 2013. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2013. 432p.
- COOPERAFORESTA. **Quem somos**. Barra do Turvo, [201-]. Disponível em: <<https://www.cooperafloresta.com/>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- CPRM. **Bases SIG do mapa hidrogeológico do Brasil**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br>>. Acesso em: 17 maio 2017.
- DUBOIS, J. El papel del programa IICA-TROPICOS en la promoción de Sistemas Agro-silvopastoriles. In: TALLER SISTEMAS AGROFLORESTALES EN AMERICA LATINA, 1979, Turrialba. **Actas ...** Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1979. p.9-14.
- FERNADES, G.W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v.14, n.2, p.35-45, July/Dec. 2016.
- FROM global crisis towards ecological agricultores. **The Ecologist**, v.21, p.107-112, 1991.
- HOMMA, A.K.O. Organização da produção e comercialização de produtos agro-florestais: o caso da colônia agrícola nipo-brasileira de Tomé-Açu, Pará. In: MONTOYA VILCAHUAMÁN, L.J.; RIBASKI, J.; MACHADO, A.M.B. (Ed.). **Sistemas Agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental**: perspectivas, análises e tendências. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. p.51-77.
- ICRAF. **What is Agroforestry?** Nairóbi, [2018]. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/about/agroforestry>>. Acesso em: 16 nov. 2018.
- JACOBI, C.M. et al. Iron geosystems: priority areas for conservation in Brazil. In: TIBBETT, M. (Ed.). **Mining in ecologically sensitive landscapes**. Collingwood: CSIRO, 2015. cap.4, p.55-78.
- KATO, O.; TAKAMATSU, J. Tomé-Açu. In: KATO, O.; TAKAMATSU, J. **Iniciativas promissoras e fatores limitantes para o desenvolvimento de Sistemas Agroflorestais como alternativa à degradação ambiental na Amazônia**. Belém, 2005.
- KING, K.F.S. The history of agroforestry. In: STEPLER, H.A.; NAIR, P.K.R. (Ed.). **Agroforestry: a decade of development**. Nairobi: ICRAF, 1987. cap.1, p.3-11. p.5
- LOBATO, L.M. et al. **Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 68p. Disponível em: <[http://www.codemig.com.br/wp-content/uploads/2016/08/nota\\_explicativa\\_qf.pdf](http://www.codemig.com.br/wp-content/uploads/2016/08/nota_explicativa_qf.pdf)>. Acesso em: 5 ago. 2012.
- MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B. do; VENTURIN, N. **Eucalipto em Sistemas Agroflorestais**. Lavras: UFLA, 2010. 331p.
- MANSVELT, J.D. van. Basic concepts of alternative agriculture. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF THE IFOAM, 6., 1986, Santa Cruz. **Proceedings ...** Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems. Santa Cruz: University of California, 1988.
- MARTINS, T.P.; RANIERI, V.E.L. Sistemas Agroflorestais como alternativa para as reservas legais. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v.17, n.3, p.79-96, jul./set. 2014.
- MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais**: como conciliar conservação com produção - opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: ICRAF, 2016. 266p.
- MIELKE, C. et al. New geometric hull continuum removal algorithm for automatic absorption band detection from spectroscopic data. **Remote Sensing Letters**, v.6, n.2, p.97-105, 2015.
- MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 17 out. 2013. Diário do Executivo.
- MOURÃO, M.A.A. **Caracterização hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2007. 297p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- MUTIRÃO Agroflorestal. Blog da ONG. São Joaquim da Barra, [2018]. Disponível em: <<http://mutiraoagroflorestal.org.br/historia-2/>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- NASCIMENTO, J.R. **Forest vocation lands and forest policy**: when simpler is better. Washington: Rural Development Unit, 2005. 58p.
- NAO, T. van. Actividades de la FAO en el campo agroflorestal. In: TALLER SISTEMAS AGROFLORESTALES EN AMERICA LATINA, 1979, Turrialba. **Actas ...** Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1979. p.8-9.
- OBSERVATÓRIO DO CÓDIGO FLORESTAL. Brasília, [2018]. Disponível em: <<http://www.observatorioflorestal.org.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- ODUM, E.P. Input management of production systems. **Science**, v.243, n.4888, p.177-182, 1989.



PIRES, A.P.F. et al. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resiliense. **Perspectives in Ecology and conservation**, v.15, n.3, p.187-193, July/Sept. 2017.

PRIMAVESI, O. **Manejo ambiental agrícola, para agricultura tropical agrônômica e sociedade**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2013. 840p.

RODRIGUES, L.N. Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, Belo Horizonte, n.114, p.47-53, 2017.

SCHEMBERGUE, A. et al. Sistemas Agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília v.55, n.1, p.9-30, jan./mar. 2017. p.5

SCHROTH, G. et al. (Ed.). **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Washington: Island, 2004. 523p.

SICAR. **Imóveis**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SILVA, A.B.; SOBREIRO NETO, A.F.; BETARCHINI, A.C. Potencial das águas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7., 1994, Recife. **Anais ...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1994. p.264-273. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/subterraneas/article/view/24425/16377>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SOARES-FILHO, B. et al. Brazil's market for trading forest certificates. **PLOS ONE**, San Francisco, v.11, n.6, p.0152311, 2016. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0152311>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SOARES-FILHO, B. et al. **Modelagem das oportunidades econômicas e ambientais do**

**Restauração Florestal sob o Novo Código Florestal**: impacto de políticas públicas voltadas à implementação do novo Código Florestal - Relatório de Projeto. Belo Horizonte: UFMG - Centro de Sensoriamento Remoto, 2014.

SOUZA-ESQUERDO, V.F. de; BERGAMASCO, S.M.P.P. Análise sobre o acesso aos programas de políticas públicas da agricultura familiar nos municípios do circuito das frutas (SP). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.52, p.205-222, 2014. Suplemento 1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032014000600011>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

VISWANATH, S. et al. Traditional Agroforestry Systems and practices: a review. **Advanced Agricultural Research & Technology Journal**, v.2, n.1, p.18-29, Jan. 2018.

WILKEN, G.C. Integrating forest and small-scale farm systems in Middle America. **Agro-Ecosystems**, v.3, p.291-302, 1976.

EPAMIG ASCOM - ABR/2019



SHOPPING



GIR LEITEIRO

EPAMIG

★ 2019 ★

O tradicional Leilão da EPAMIG agora é Shopping Gir Leiteiro. Muito mais vantagens para o produtor.

**De 29/04 à 03/05/2019**  
**Das 8 às 16 horas**

**Campo Experimental Getúlio Vargas**  
Rua Afonso Rato, 1.301  
B. Mercês - Uberaba - MG

**Informações**  
(34) 3317-7600  
cegt@epamig.br

Realização




Shopping Oficial



**MATRIZES E REPRODUTORES DE**  
**ALTO VALOR GENÉTICO**

# Comitês de Bacia Hidrográfica, Agências de Água e a sustentabilidade financeira para o seu funcionamento

*Flávia Simões Ferreira Rodrigues<sup>1</sup>, Osman Fernandes da Silva<sup>2</sup>, Wagner Martins da Cunha Vilella<sup>3</sup>*

Resumo - Comitês de Bacia Hidrográfica e Agências de Água são instâncias distintas, mas complementares do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Os Comitês foram concebidos para promover a gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos, sendo conhecidos como parlamentos das águas, compostos por representantes dos poderes públicos, dos usuários de água e da sociedade civil organizada, os quais não desempenham atribuições executivas, mas sim políticas. Suas principais competências são: arbitragem de conflitos pelo uso da água; aprovação do plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica; estabelecimento dos mecanismos de cobrança e sugestão dos valores a ser cobrados pelo uso dos recursos hídricos. Já as Agências de Água proveem suporte técnico e executivo aos Comitês de Bacia, além de funcionar como Secretarias Executivas dos Comitês por meio de atividades administrativas e financeiras. O apoio técnico prestado pelas Agências de Água compreende a elaboração de estudos e a realização de projetos solicitados pelos Comitês, por meio de sua Diretoria. Em que pese a existência, no Brasil, de 232 Comitês de Bacia (223 estaduais e 9 interestaduais) e 13 entidades que desempenham as funções de Agência de Água, numerosos problemas vêm sendo observados na implementação da política e do sistema de Gestão de Recursos Hídricos, a exemplo da sustentabilidade financeira desse sistema descentralizado e participativo que torna difícil o alcance dos objetivos da gestão dos recursos hídricos estabelecidos na Lei das Águas.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Gestão. Legislação.

## Basin Committees, Water Agencies and financial sustainability for its operation

Abstract - River Basin Committees and Water Agencies are complementary instances of the Brazilian National Water Resource Management System. River Basin Committees were conceived to promote the participative and decentralized management of water resources, being known as water parliaments, made up of representatives of public authorities, water users, and organized civil society which do not carry out executive actions but political. The main competences of the River Basin Committee are: arbitration of conflicts over the use of water; approval of the River Basin water resources plan; establishment of mechanisms for water use charges, and the proposition of the fees values to be charged. Water Agencies should provide technical and executive support for the River Basin Committees, in addition to work as executive secretaries of the Committees through administrative and financial activities. The technical support provided by Agencies comprises the preparation of studies and carrying out projects requested by the Committee through its Board. Although there are 232 Basin Committees (223 state and 9 interstate) and 13 Water Agencies in Brazil, numerous problems have been observed in the implementation of the policy and the Water Resource Management System such as the financial sustainability of this decentralized and participatory System that makes it difficult the achievement of water resources management objectives goals settled in the Brazilian Water Law.

Keywords: Water resources. Management. Legislation.

<sup>1</sup>Eng. Civil, M.Sc., Especialista Recursos Hídricos Agência Nacional de Águas, Brasília, DF, [flavia.rodrigues@ana.gov.br](mailto:flavia.rodrigues@ana.gov.br)

<sup>2</sup>Oceanógrafo, D.Sc., Especialista Recursos Hídricos Agência Nacional de Águas, Brasília, DF, [osman.silva@ana.gov.br](mailto:osman.silva@ana.gov.br)

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, M.Sc., Especialista Recursos Hídricos Agência Nacional de Águas, Brasília, DF, [wagner.vilella@ana.gov.br](mailto:wagner.vilella@ana.gov.br)



## INTRODUÇÃO

A diversidade de interesses em relação ao uso da água, a distribuição desigual e a utilização inadequada têm gerado conflitos e ameaçado a garantia desse recurso para as gerações presentes e futuras. Reverter esse quadro e estabelecer acordos entre os múltiplos usos demandam arranjos institucionais que permitam a conciliação dos diferentes interesses e a construção coletiva das soluções. Nesse sentido, foram instituídos pela legislação brasileira de recursos hídricos os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) (BRASIL, 1997).

## PRINCIPAIS ATRIBUIÇÕES DOS COMITÊS DE BACIA

Os CBHs foram estruturados para promover a gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos, sendo conhecidos como parlamentos das águas, que são colegiados compostos por representantes dos poderes públicos municipais, estaduais e da União (no caso de bacias compartilhadas por mais de um Estado), dos usuários de recursos hídricos dos diversos segmentos (irrigação, saneamento, geração hidrelétrica, indústria, turismo, mineração e outros) e das organizações civis com interesses sobre os recursos hídricos. Esse colegiado tem como atribuições legais deliberar e propor ações relacionadas com a gestão de recursos hídricos.

Dentre as principais competências deliberativas do CBH está a arbitragem de conflitos pelo uso da água em primeira instância administrativa. Como no Comitê os diversos interesses sobre o uso da água estão ali representados, espera-se que, por meio de negociação entre as partes em conflito, se possa chegar a um entendimento sobre a melhor forma de conciliar os usos em disputa.

Outras competências deliberativas de extrema importância que cabem aos Comitês são: aprovação do Plano de Recursos Hídricos (PRH) da bacia hidrográfica e estabelecimento dos mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos com a sugestão dos valores a ser cobrados. O PRH é a peça que define as alternativas de utilização

desses recursos e orienta a tomada de decisão, por parte dos atores responsáveis pela gestão das águas, de modo que produzam melhores resultados econômicos, sociais e ambientais para a bacia, sendo que parte de suas propostas deve ser implementada com a arrecadação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Cobrança esta que também tem o papel de reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, além de incentivar a racionalização do seu uso.

Em Minas Gerais, destaca-se também a competência dos Comitês de aprovar a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos para empreendimentos de grande porte e com potencial poluidor, o que, diretamente, pode influenciar no desenvolvimento de um município ou região.

É importante destacar que os Comitês estão inseridos dentro de um sistema composto por diversas instituições – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) – as quais têm competências diversas e complementares, com o objetivo de promover a gestão integrada das águas e de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Fig. 1).

Assim, para bem desempenhar as funções que lhe foram estabelecidas por lei, o Comitê deve atuar em consonância e em articulação com os demais entes do Singreh.

## COMPOSIÇÃO E REPRESENTATIVIDADE NOS COMITÊS DE BACIA

A composição do Comitê deve refletir os múltiplos interesses com relação às águas da bacia. Assim, recomenda-se que uma bacia com predominância do setor agrícola, por exemplo, tenha um número de representantes no colegiado que reflita essa realidade. Recomenda-se que, em bacias que abrangem mais de um Estado, seja balanceada a quantidade de representantes de cada unidade federada, para que haja equilíbrio nas tomadas de decisão por parte do Comitê. Esse conjunto de representações deve reunir os antagonismos dos interesses sobre a água, porém, o uso dos

recursos hídricos deve ser sustentável para assegurar condições tanto para as atuais quanto para as futuras gerações.

À exceção dos representantes dos poderes públicos federal e estaduais, que são indicados pelos respectivos governos, os demais representantes que compõem o CBH são escolhidos por meio de um processo eleitoral. Assim, a definição das características que qualificam o representante como o mais adequado para defender os interesses de um determinado segmento (usuários de águas, prefeituras municipais e organizações civis) é feita entre os seus pares em assembleias setoriais, convocadas mediante publicação de edital para a escolha dos representantes.

No caso dos usuários, é interessante que associações, sindicatos, federações ou confederações assumam a representação dos interesses comuns de seus sócios. Isto acontece em várias oportunidades, não só por geralmente congregarem um grande número de associados, mas também por disporem de meios para articular entre si as discussões sobre a gestão de recursos hídricos.

Nos mais de duzentos CBHs hoje existentes no Brasil, há composições diversas: cada Estado tem suas regras próprias para definir os quantitativos máximo e mínimo dos segmentos representados nos colegiados. Em nível federal, os Comitês têm que apresentar uma composição que deve obedecer a percentuais máximos e mínimos definidos por Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2000). A distribuição deve ser de 40% de representantes de usuários, no mínimo 20% de organizações civis e no máximo 40% de poderes públicos (Gráfico 1A).

Diferente da União, a legislação mineira estabelece que a composição dos CBHs seja dividida em quatro segmentos: Poder Público Estadual, dos municípios, usuários e organizações civis, sendo que o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH, 2016) definiu que a divisão das vagas deve ser realizada de forma paritária, ou seja, cada segmento ocupa 25% das vagas nos Comitês mineiros (Gráfico 1B).



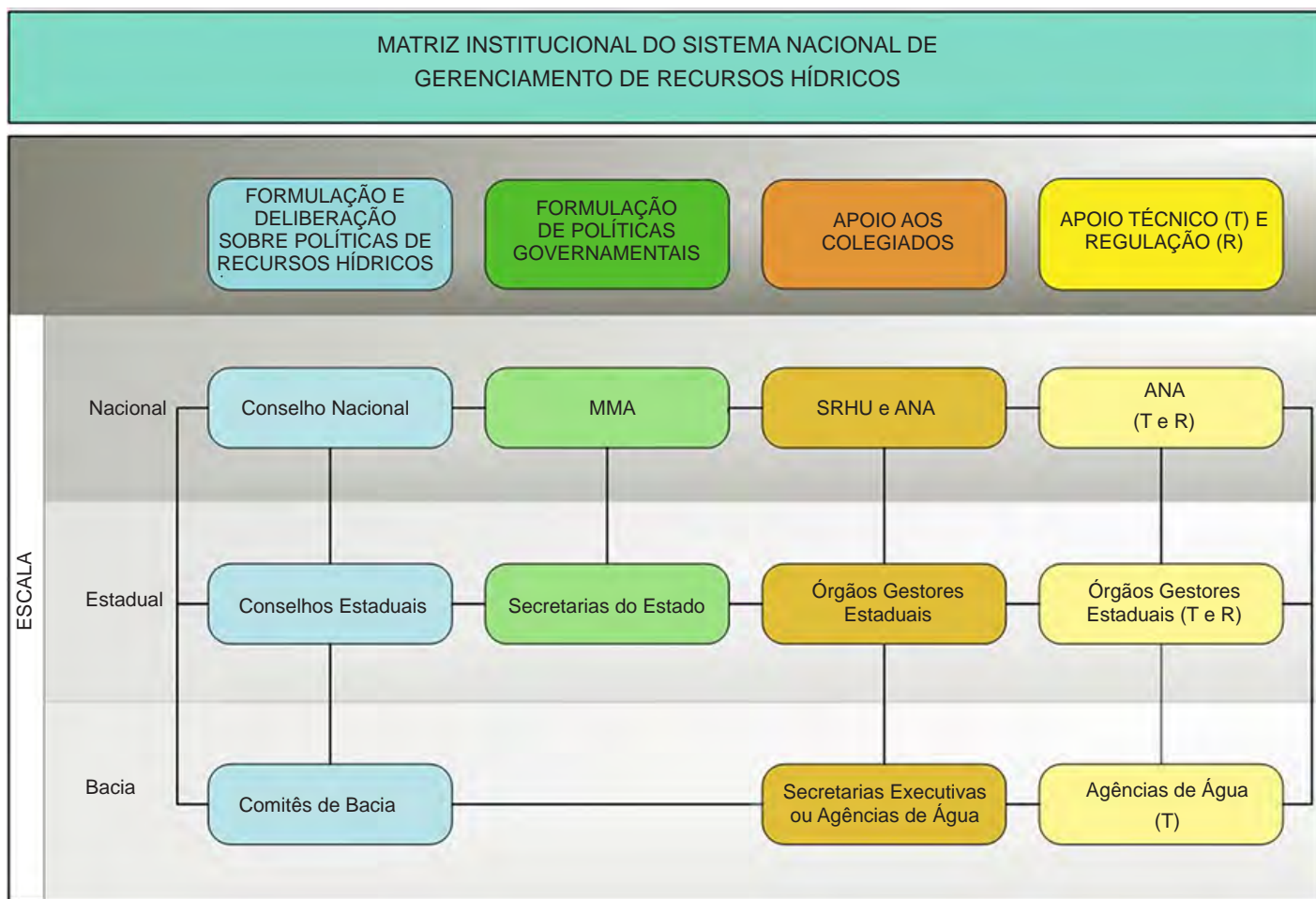


Figura 1 - O Singreh e as diversas instituições que o compõem

Fonte: Agência Nacional de Águas (2011).

Nota: MMA - Ministério do Meio Ambiente; SRHU - Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano; ANA - Agência Nacional de Águas.

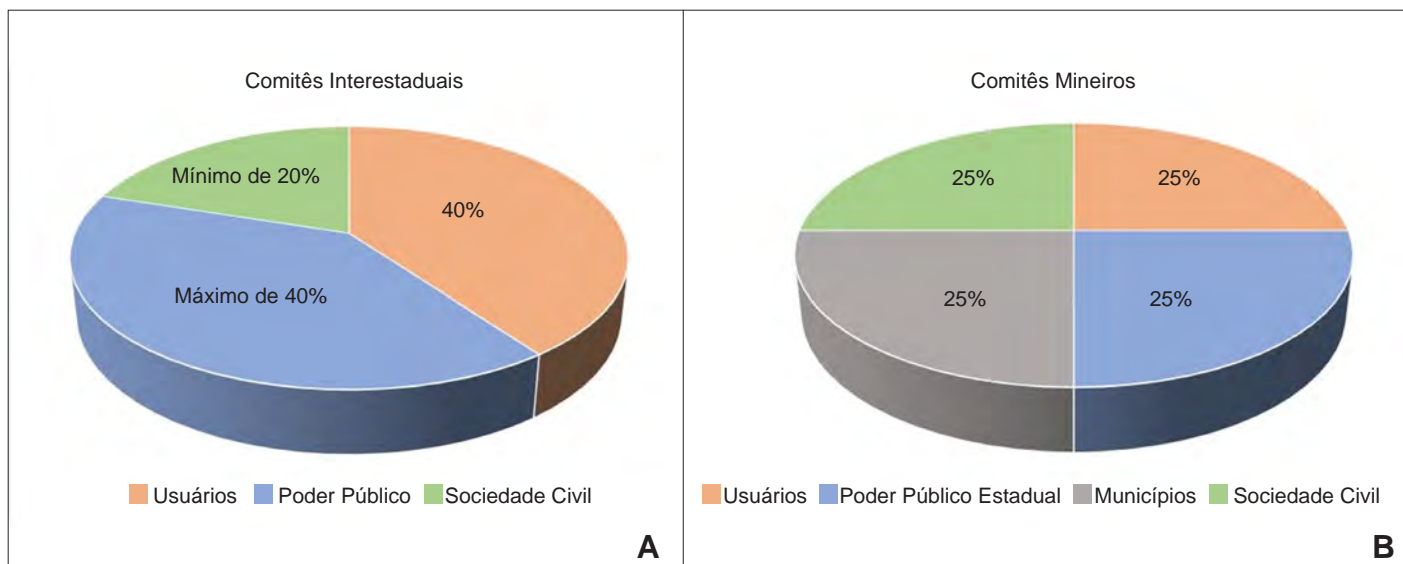


Gráfico 1 - Composição e representatividade nos Comitês de Bacia

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: A - Distribuição dos segmentos na composição de Comitês em Bacias Interestaduais; B - Distribuição dos segmentos na composição de Comitês em Bacias Mineiras.



## ESTRUTURAS DE FUNCIONAMENTO DOS COMITÊS DE BACIA

Em geral, a estrutura organizacional dos comitês compõe-se de Plenário, Diretoria e Câmaras Técnicas (CTs), podendo ser instituídos, a critério de alguns colegiados, Grupos de Trabalho (GTs) para análise de temas específicos. Alguns Comitês optaram por instituir apenas uma Câmara, outros por não instituir nenhuma, criando apenas GTs. Estruturas acessórias para apoio às decisões dos Comitês também podem ser observadas, como as Câmaras Consultivas Regionais, criadas pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco ou a Diretoria Ampliada, criada no âmbito do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

O Plenário é o órgão mais importante de um CBH, no qual se reúne a totalidade de seus membros para analisar, debater e votar as matérias referentes aos recursos hídricos. O Plenário de um Comitê é soberano em suas decisões e somente participam os membros titulares ou os suplentes no exercício da titularidade. Aos suplentes é assegurado o direito à voz, mesmo na presença do titular. No Plenário, estarão presentes as representações dos três segmentos já mencionados, de acordo com as composições apresentadas no Gráfico 1A.

A Diretoria deve ser constituída por, no mínimo, um presidente e um secretário, e varia de acordo com as especificidades de cada bacia. No caso do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, por exemplo, tem-se uma Diretoria Executiva (Direx), composta por presidente, vice-presidente e secretário, e uma Diretoria Colegiada que é composta pela Direx mais os coordenadores das quatro Câmaras Consultivas Regionais (do Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco). Os cargos da Diretoria são preenchidos por eleição entre os membros titulares do Comitê e, caso as pessoas eleitas sejam desligadas do plenário, haverá necessidade de eleger novos componentes, ou seja, os

cargos da Diretoria não são das instituições membros do Comitê e, sim, das pessoas que os representam.

As CTs têm por atribuição subsidiar a tomada de decisões do Comitê. Devem desenvolver e aprofundar as discussões temáticas necessárias antes de sua submissão ao Plenário. Devem ter plenamente definidas suas atribuições, composição, forma de funcionamento e relacionamento com as demais instâncias do Comitê.

De forma geral, os GTs são instituídos para realizar análises de temas específicos para subsidiar alguma decisão colegiada. A criação de um GT pode ser por decisão do Plenário ou de Câmara Técnica. Como são criados para realizar atividades específicas, os GTs têm duração variável, de acordo com a complexidade do tema a ser desenvolvido pelo grupo. Podem durar de alguns meses, anos ou até se tornarem permanentes, mas o ideal é que sejam extintos, quando o objetivo, para o qual foram criados, tiver sido atingido.

E como funcionam essas instâncias dos Comitês? Quem garante as condições mínimas para a participação dos representantes nas reuniões? Quem encaminha previamente para o Comitê as informações para subsidiar o processo de tomada de decisão? Quem comunica as decisões do colegiado à sociedade? Quem apoia tecnicamente o Comitê para o entendimento dos problemas apresentados, entre outras necessidades? Todos esses papéis são exercidos pela Secretaria Executiva do Comitê. Esta Secretaria é a estrutura permanente de suporte administrativo, técnico e financeiro, que tem como atribuição assegurar as condições de funcionamento do colegiado.

O formato da Secretaria Executiva e de suas atribuições está definido no Regimento Interno do Comitê. Os recursos financeiros repassados para apoiar o funcionamento da Secretaria Executiva devem permitir sua autonomia administrativa. Essas Secretarias não possuem um único modelo. Em alguns Comitês são os órgãos gestores que exercem essa função,

em outros são consórcios intermunicipais ou universidades. A contratação de Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público (Oscips) também se configura em um modelo possível de estruturar para as Secretarias Executivas. Ou ainda, no caso de Comitês com cobrança pelo uso da água já instituída, as Agências de Água que exercem essa função (ou Entidades Delegatárias (EDs) que receberam delegação para tal).

## EVOLUÇÃO DOS COMITÊS DE BACIA NO BRASIL

Até a instituição da PNRH e criação do Singreh, pela Lei nº 9.433, de 8/1/1997 (BRASIL, 1997), existiam apenas 30 CBHs em rios estaduais, atualmente são 223. Além desses, nove Comitês de rios interestaduais encontram-se instalados e funcionando no País. A evolução da implantação de CBHs no País pode ser observada no Gráfico 2.

Atualmente, cerca de 49% da população brasileira vive em áreas sob atuação de algum CBH, seja interestadual, estadual, seja ambos. Em Minas Gerais, este percentual chegou a 100%, sendo boa parte do território gerenciada por Comitês estaduais e interestaduais, conjuntamente e de forma integrada.

É importante destacar que, dos nove comitês interestaduais existentes, sete abrangem porções do território mineiro: CBH São Francisco; CBH Paraíba do Sul; CBH Verde Grande; CBH Doce; CBH Piracicaba Capivari e Jundiá; CBH Grande e CBH Paranaíba. Este número deixa clara a importância de Minas Gerais no contexto nacional da gestão de recursos hídricos.

Na Figura 2, é possível observar a cobertura de parte do território nacional por Comitês de Bacias estaduais e interestaduais.

## AGÊNCIAS DE ÁGUA

As Agências de Água (ou de Bacia) foram previstas no arcabouço da legislação de recursos hídricos como o ente respon-



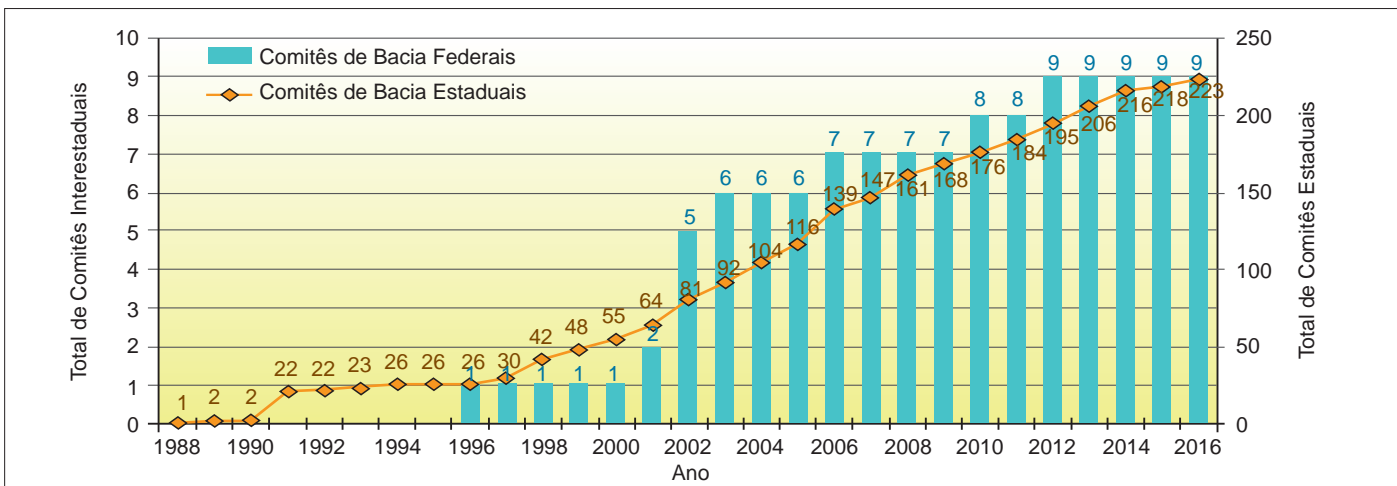


Gráfico 2 - Evolução da criação de Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) no Brasil

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017).

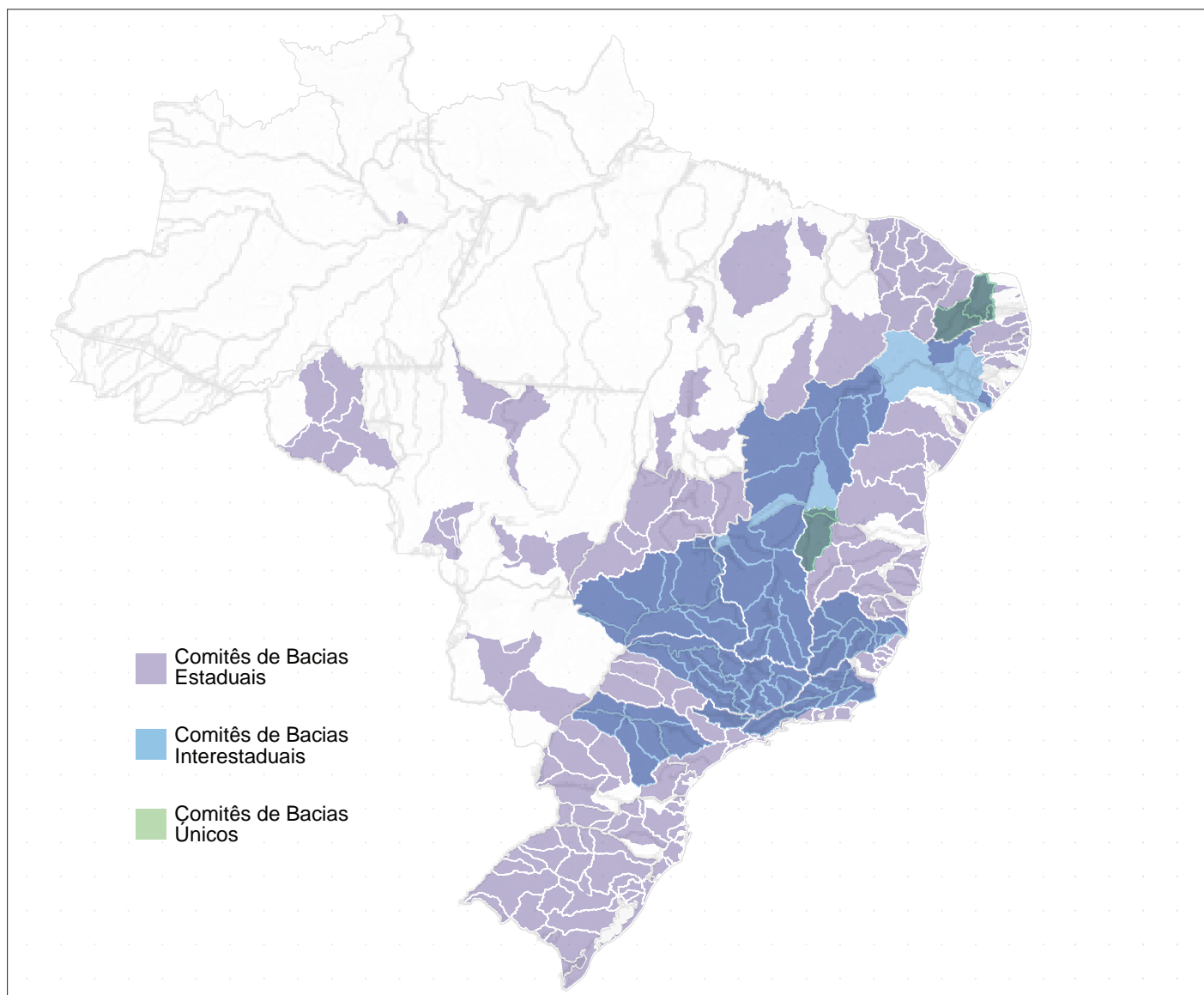


Figura 2 - Cobertura do território e evolução da criação de Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) no Brasil

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017).

sável pela implementação da política de recursos hídricos em nível de bacia ou região hidrográfica. Por esse motivo, essas Agências são comumente denominadas como “braço técnico” ou “executivo” dos CBHs.

Além disso, as Agências também exercem a função de Secretaria Executiva dos Comitês por meio de atividades administrativas, financeiras e de articulação, em que, no âmbito do modelo brasileiro de gestão da água, busca-se uma desafiadora gestão sistêmica das águas de uma bacia hidrográfica, independentemente do domínio da água.

Ainda em relação à função de Secretaria Executiva do Comitê de Bacia, a Agência de Água é a responsável pelo suporte administrativo para o funcionamento do referido colegiado. Possui, portanto, a atribuição de organizar reuniões, efetuar a divulgação prévia de estudos subsidiários à tomada de decisão do Comitê, comunicar essas ações à sociedade, além de manter atualizadas e disponíveis informações sobre a execução dessas deliberações.

As principais atribuições técnicas das Agências, discriminadas no Art. 44 da Lei das Águas (BRASIL, 1997), consistem em:

- a) manter balanço da disponibilidade de recursos hídricos atualizado;
- b) manter o cadastro de usuários de recursos hídricos;
- c) gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH);
- d) promover os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos e elaborar o PRH da respectiva Bacia;
- e) propor ao CBH o enquadramento dos corpos d'água nas classes de uso;
- f) propor os valores a ser cobrados pelo uso de recursos hídricos;
- g) propor o plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água bruta, ou seja, captada diretamente do corpo d'água

e não tratada pela Companhia de Saneamento;

- h) elaborar sua proposta orçamentária e submetê-la à apreciação do Comitê da Bacia;
- i) elaborar estudos técnicos sobre as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos;
- j) analisar e emitir pareceres sobre projetos e obras a ser financiados com recursos da cobrança pelo uso;
- k) acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso;
- l) efetuar, mediante delegação do outorgante (órgãos gestores estaduais ou federal de recursos hídricos), a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

No exercício de suas respectivas competências, Comitês e Agências devem manter suas autonomias dentro dos limites legais definidos, ou seja, cada um deve cumprir o seu papel, mas sem interferir nas atribuições do outro, para que a qualidade da relação entre esses organismos (governança hídrica), no ambiente sistêmico da gestão das águas, possa ocorrer de forma harmônica e potencializar o sucesso da gestão integrada das águas na bacia hidrográfica.

É oportuno ressaltar, que, quando da regulamentação do “braço técnico” ou “executivo” do Comitê de Bacia em rios de domínio da União, não foram criadas as Agências de Água propriamente ditas, que, por princípio legal, seriam órgãos públicos. Ao invés disso, a lei que regulamentou esses entes de suporte aos Comitês previu somente associações civis de direito privado, autônomas, sem fins econômicos, regidas pelas normas do Código Civil Brasileiro e pelo seu Estatuto. As referidas entidades foram designadas como EDs com funções de Agência de Água.

Há de se ressaltar que, em alguns estados da Federação, a critério de cada um, ao invés de haver a regulamentação para instituir as EDs, o próprio Estado assumiu essa função. Ceará e São Paulo foram os pioneiros a adotar o referido modelo.

O estado de Minas Gerais possui o equivalente jurídico às EDs denominadas “Entidades Equiparadas”.

Atualmente, existem no País 13 entidades, públicas ou privadas, que exercem a referida função (Fig. 3).

## SUSTENTABILIDADE DOS COMITÊS DE AGÊNCIAS DE ÁGUA

Não há que se falar de funcionamento de Comitês de Bacia e Agências de Água sem discutir a necessidade de fontes de recurso para seu adequado funcionamento e implementação dos projetos ora deliberados. Nesse sentido, é importante apresentar e discutir dados sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil.

De forma geral, acompanhando o histórico do desenvolvimento da gestão de recursos hídricos no País, a cobrança pelo uso da água avançou principalmente nas Regiões Sudeste e Nordeste, tendo sido o estado do Ceará, em 1996, o primeiro a cobrar pelo uso da água e, atualmente, é o que mais arrecada com esta cobrança. Na Figura 4, podem-se visualizar as porções do território nacional, onde a cobrança foi implantada (incluindo as usinas hidrelétricas) e também aquelas que estão em processo de implantação.

A cada ano o valor total cobrado pela água e os recursos arrecadados vêm aumentando no País. Apenas em 2017, o valor total cobrado pelo uso dos recursos hídricos no Brasil (incluindo rios federais e estaduais) alcançou a soma de R\$ 455 milhões, tendo sido arrecadado cerca de 95% deste total.

No que se refere exclusivamente aos rios de domínio da União, o valor arrecadado de um total de 2.876 usuários de água correspondeu a, aproximadamente, R\$ 64,6 milhões (cerca de 15% do total cobrado no País em 2017). Para 2019, em



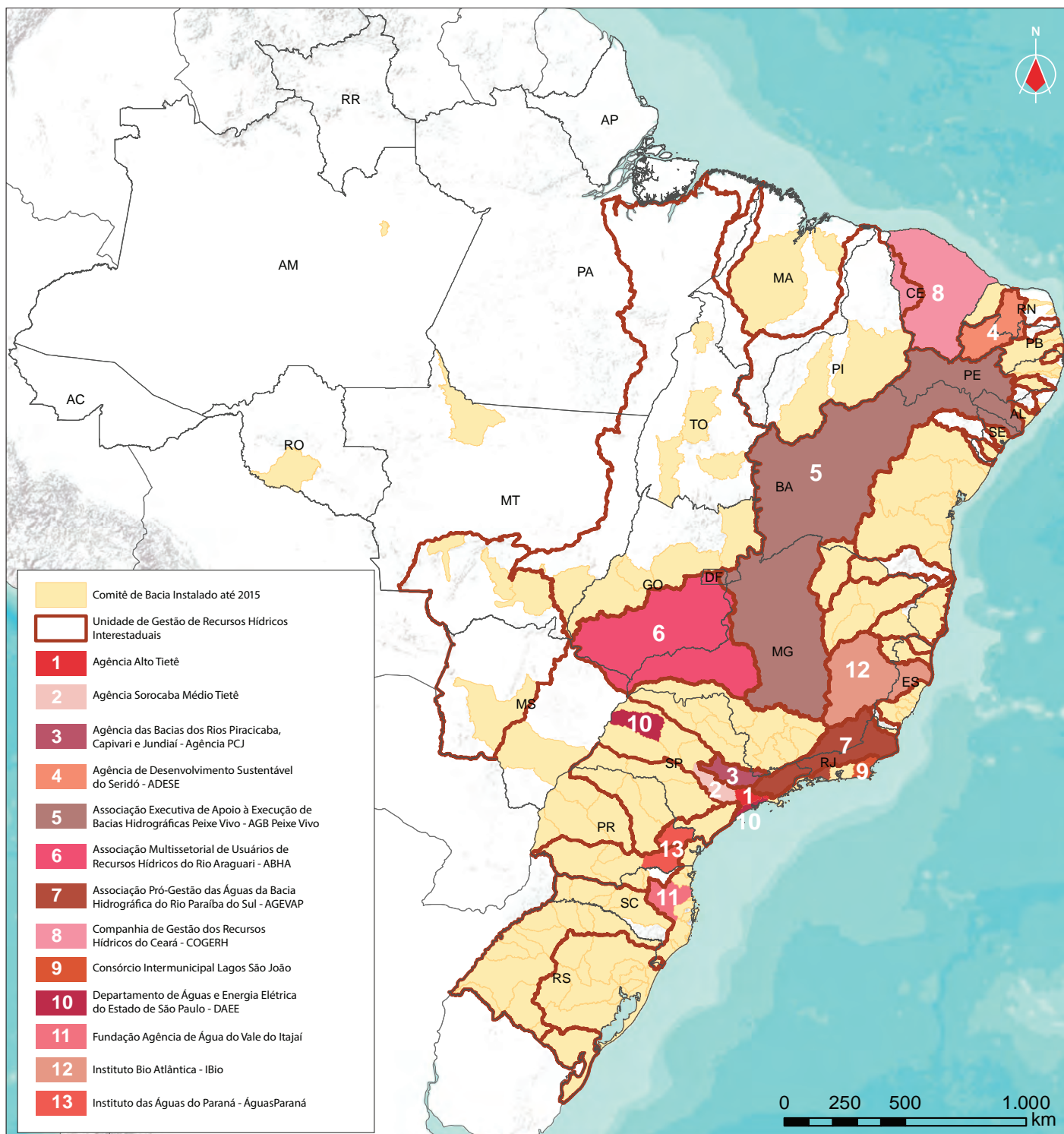


Figura 3 - Abrangência das entidades com funções de Agência de Água no Brasil

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos (2016).

consequência de correções monetárias dos valores cobrados e em função da implantação de novas cobranças, estima-se que o total cobrado em rios federais será de R\$100 milhões.

O total de recursos arrecadados (acumulado) em rios de domínio da União é de R\$554.902.327, enquanto o total nacional, incluindo as arrecadações das cobranças em rios estaduais, totaliza

R\$2.372.716.746, como pode ser observado na Tabela 1.

A título de comparação, o passivo identificado no PRH da Bacia do Rio Paraíba do Sul era em torno de 4,7 bilhões de

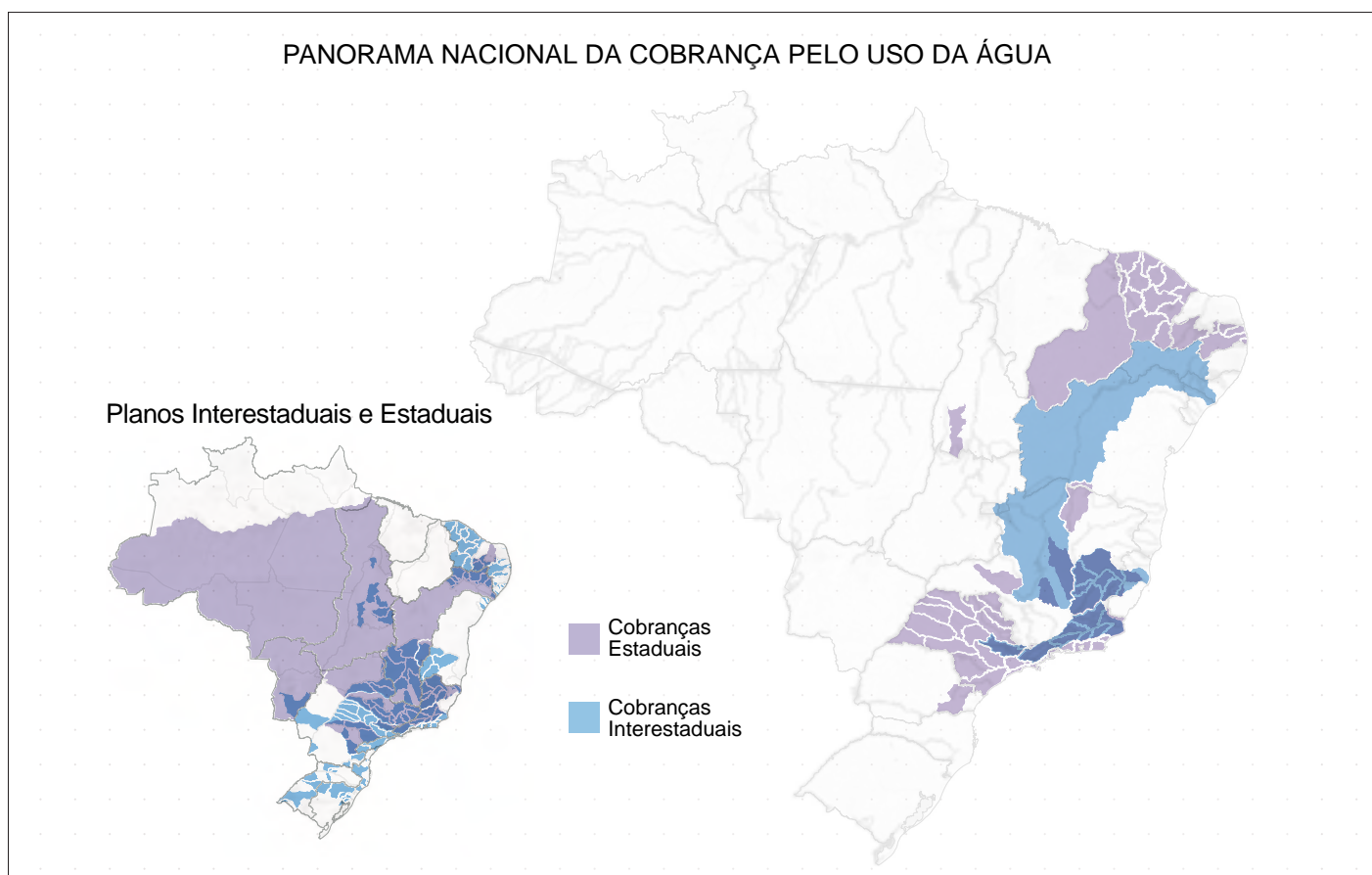


Figura 4 - Porções do território nacional onde a cobrança do uso da água está implantada ou em processo de implantação

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017).

Nota: UHEs - Usinas hidrelétricas; CBHs - Comitês de Bacias Hidrográficas; CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Tabela 1 - Valores cobrados e arrecadados no Brasil (em R\$ milhões)

Cobrança implementada	Início	2017		Total	
		Cobrado	Arrecadado	Cobrado	Arrecadado
<b>Cobrança interestadual</b>					
Paraíba do Sul	Mar. 2003	11,82	11,70	156,15	152,83
Piracicaba, Capivari, Jundiaí	Jan. 2006	19,85	19,39	205,75	190,98
São Francisco	Jul. 2010	23,39	22,29	169,07	160,27
Doce	Nov. 2011	11,97	11,26	64,15	50,83
<b>Total</b>		<b>67,03</b>	<b>64,65</b>	<b>595,12</b>	<b>554,90</b>
<b>Cobrança estadual</b>					
Ceará	Nov.1996	183,31	181,93	876,63	851,96
Rio de Janeiro	Jan. 2004	54,41	50,99	326,24	287,27
São Paulo	Jan. 2007	93,48	88,33	485,09	448,58
Minas Gerais	Mar. 2010	52,76	39,61	243,23	213,41
Paraná	Set. 2013		4,16	11,05	14,67
Paraíba	Jan. 2015	3,87	0,79	10,06	1,92
<b>Total estadual</b>		<b>387,84</b>	<b>365,80</b>	<b>1.952,30</b>	<b>1.817,81</b>
<b>Cobrança total do País</b>		<b>454,87</b>	<b>430,44</b>	<b>2.547,42</b>	<b>2.372,72</b>

Fonte: Agência Nacional de Águas (2019).

reais em 2006, enquanto a capacidade de arrecadação anual desta Bacia (incluindo as cobranças federais e estaduais) é atualmente de 22 milhões. Ou seja, dez anos de arrecadação nessa Bacia cobriria em torno de 5% dos passivos identificados. Ressalta-se ainda, que, em todas as Bacias, onde a cobrança foi implementada, essa proporção entre valor arrecadado e os passivos identificados se repete.

Esta constatação é um importante indicador do quão distante o referido instrumento está de alcançar, ao menos, um dos objetivos do referido instrumento, qual seja, “obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos PRHs”.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É oportuno ressaltar que a sustentação financeira para o funcionamento dos Comitês de Bacia e das EDs ou entidades públicas que exercem a função de Agência de Água é a cobrança pelo uso da água, que constitui um dos cinco instrumentos previstos na Lei das Águas.

Portanto, se por um lado cabe aos Comitês de Bacia estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a ser cobrados por outro, é prerrogativa do CNRH a aprovação final da proposta do valor a ser cobrado nos rios de domínio da União. De forma similar, nos rios de domínio dos Estados, essa prerrogativa é do respectivo CERH.

Em resumo, a implementação da cobrança pelo uso da água possui três objetivos:

- 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 para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos PRHs.

Entretanto, a proposição dos valores a ser cobrados é realizada pelos membros do respectivo Comitê de Bacia, onde a cobrança é implantada; cujos valores serão pagos pelos usuários de recursos hídricos que têm representação majoritária nos Comitês (40%). Adicionalmente, esses usuários são politicamente mais organizados e tecnicamente mais bem capacitados (consultores), o que resulta em forte assimetria de poder político no momento de deliberar as iniciativas apresentadas no âmbito do Comitê de Bacia, resultando em valores cobrados abaixo dos níveis necessários para cumprir os objetivos da política de recursos hídricos.

Como consequência prática, raramente os valores arrecadados viabilizam a autonomia financeira dos CBHs e das EDs. Daí resulta a necessidade de haver aporte complementar de recursos por parte do respectivo órgão gestor de recursos hídricos, principalmente para o custeio administrativo das EDs.

E mais comprometida ainda tem sido a possibilidade de implementar as ações previstas nos PRHs das bacias hidrográficas, elaborados pelas EDs ou por meio destas, segundo as determinações dos Comitês de Bacia.

As referidas incompletudes no modelo de sustentabilidade financeira do sistema descentralizado e participativo, que se baseia nas bacias hidrográficas, têm-se mostrado críticas para de fato viabilizar os objetivos de gestão das águas preconizados na Lei das Águas.

De fato, isso não significa que o modelo seja ruim. Significa, sim, que o modelo é incompleto ou insuficiente para alcançar as finalidades almejadas pelos legisladores que a conceberam. E, portanto, exigem-se reformas no sistema então concebido. Isso talvez implique em aproximar a legislação brasileira do modelo francês, mais consistente e mais bem estruturado técnica e institucionalmente, que, inclusive, serviu de referência para o modelo adotado no Brasil.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Histórico da cobrança**. Brasília, 2019. Disponível em: <[www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/cobranca/historico-da-cobranca/](http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/cobranca/historico-da-cobranca/)>. Acesso em: 18 fev. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O Comitê de bacia hidrográfica: o que é e o que faz?** Brasília, 2011. 64p. (ANA. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, 1).

BRASIL. Lei nº 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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 jan. 1997.

CERH. Deliberação CERH nº 52, de 30 de junho de 2016. Estabelece as diretrizes gerais, os princípios e fundamentos para subsidiar a elaboração dos Regimentos Internos dos Comitês de Bacias Hidrográficas. **Minas Gerais**, Belo Horizonte MG, 1 jul. 2016. **Diário do Executivo**.

CNRH. Resolução nº 5, de 10 de abril de 2000. [Estabelece diretrizes para a formação e funcionamento dos Comitês de Bacias Hidrográficas]. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 11 abr. 2000.

CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS: Informe 2016. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2016. 95p. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf/view>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL 2017: relatório pleno. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017. 169p. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018.



# Irrigação: manejo apropriado para evitar desperdício de água

João Batista Ribeiro da Silva Reis<sup>1</sup>, Fúlvio Rodríguez Simão<sup>2</sup>, Eugênio Ferreira Coelho<sup>3</sup>, Polyanna Mara de Oliveira<sup>4</sup>

**Resumo** - O planejamento da irrigação deve considerar a racionalidade do uso da água e a eficiência de distribuição da lâmina aplicada. Métodos de determinação da evapotranspiração são discutidos, destacando opções que auxiliem no manejo da irrigação, com ênfase para a necessidade do monitoramento agrometeorológico. Opções para o manejo da irrigação são as que utilizam do monitoramento da umidade do solo, dentre estas o uso dos tensiômetros e o Irrigas. O Irrigas é um sistema completo com acessórios desenvolvidos tanto para o manejo de irrigação agrícola quanto para o uso doméstico, com uma variedade de níveis de sofisticação. As estratégias de redução da lâmina de irrigação e o estudo do manejo em condição não padronizada, com possibilidade de benefício ambiental, são alternativas viáveis para que o irrigante utilize o manejo adequado de irrigação, com instrumentos e técnicas simples que propiciam auxílio na tomada de decisão, a fim de preservar os recursos hídricos e garantir o sucesso da agricultura irrigada, beneficiando o meio ambiente.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração. Irrigas. Tensiometria. Estratégia.

## Irrigation: adequate management to avoid water waste

**Abstract** - Irrigation planning should consider rational use of water and efficiency of distribution of the applied depth. Methods of evapotranspiration determination highlighting options that help irrigation management, with emphasizing on the need for agrometeorological monitoring. Options for irrigation management are those that are used to monitor soil moisture, among them the use of tensiometers and the Irrigas. The Irrigas products are complete systems with accessories developed for the management of agricultural and domestic irrigation, with a variety of levels of sophistication. Strategies of irrigation depth reduction and irrigation management in a non-standardized condition with the possibility of environmental benefit are also presented. These alternatives are feasible for farmers to use of adequate irrigation management, which demonstrate that there are simple instruments and techniques available to facilitate decision making in order to preserve water resources and ensure the success of irrigated agriculture, benefiting the environment.

**Keywords:** Evapotranspiration. Irrigas. Tensiometry. Strategy.

### INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, desde a de grande escala, que utiliza altas tecnologias, até a de pequena escala, como a agricultura familiar, a irrigação pode ser uma tecnologia imprescindível para incrementar a produtividade das culturas. Deve ser,

contudo, praticada com todos os cuidados requeridos, para causar o menor impacto possível ao meio ambiente e ser sustentável por um longo período (ALBUQUERQUE, 2010).

O planejamento da irrigação deve considerar a racionalidade do uso da água

e a eficiência de distribuição da lâmina aplicada. O manejo de irrigação permite determinar o momento de aplicação de água e a quantidade a ser aplicada, o que resulta no tempo de irrigação a ser praticado. Para que esse manejo torne-se efetivo é necessário fazer o monitoramento do

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte/Bolsista FAPEMIG, Nova Porteirinha, MG, jbrsreis@epamig.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. EPAMIG Sede/Bolsista FAPEMIG, Belo Horizonte, fulvio@epamig.br

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Ph.D., Pesq. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, eugenio.coelho@embrapa.br

<sup>4</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Norte/Bolsista FAPEMIG, Nova Porteirinha, MG, polyanna.mara@epamig.br



sistema solo-água-planta-atmosfera para determinar com precisão a necessidade hídrica das culturas e a necessidade de irrigação.

O monitoramento do consumo de água pelas plantas e, conseqüentemente, da necessidade de irrigação também pode ser realizado pelo controle da umidade do solo. Um exemplo é o método padrão de estufa que necessita de mais de um dia para obtenção de resultados, por causa da secagem da amostra a ser pesada. Portanto, esse método é muito importante na calibragem de outros métodos e sistemas de manejo da irrigação.

## DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DAS CULTURAS

Alguns dos sistemas mais utilizados para a determinação da necessidade hídrica/demanda hídrica das culturas, inclusive para o manejo da irrigação, têm como base o monitoramento do clima. Para que esses sistemas funcionem adequadamente, é necessário que os dados obtidos sejam utilizados para calcular o consumo de água pelas plantas, ou seja, a soma da água evaporada pelo solo (E) e a transpirada pela planta (T), totalizando a evapotranspiração (ET).

### Evapotranspiração de referência

O método-padrão para determinar a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) baseia-se no uso da equação de Penman-Monteith parametrizada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO (ALLEN et al., 1998) (Equação 1):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma u_2 [e_s - e_a]}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \frac{900}{(T + 273)} \quad (1)$$

em que:

$ET_0$  = evapotranspiração de referência (mm/d);

$R_n$  = saldo de radiação (MJ/m<sup>2</sup>/h);

$G$  = fluxo de calor do solo (MJ/m<sup>2</sup>/h);

$u_2$  = velocidade média do vento a 2 m do solo (m/s);

$e_s$  = pressão de vapor de saturação (kPa);

$e_a$  = pressão parcial de vapor (kPa);

$T$  = temperatura média do ar (°C);

$\Delta$  = declividade da curva de saturação do ar (Equação 2);

$\gamma$  = constante psicrométrica (KPa/°C).

$$\Delta = \frac{4098 e_s (T)}{(T + 237,3)^2} \quad (2)$$

Outra opção que o irrigante tem para computar a  $ET_0$  é o uso de equações que necessitam de menos parâmetros climáticos que a equação-padrão, como equação de Hargreaves (Equação 3) e FAO-Blaney-Cridle (Equação 4).

$$ET_0 = 0,0023 R_a (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) / 2 (T_{\text{méd}} + 17,8) \quad (3)$$

em que:

$T_{\text{máx}}$  = temperatura máxima (°C);

$T_{\text{mín}}$  = temperatura mínima (°C);

$T_{\text{méd}}$  = temperatura média (°C), [ $T_{\text{méd}} = 0,5 (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})$ ];

$R_a$  = radiação solar no topo da atmosfera (mm/d) (obtido em tabelas e determinada em função da latitude do local).

$$ET_0 = a + b [p (0,46 T + 8,13)] \quad (4)$$

em que:

a e b = fatores de ajuste local, adimensional (obtido em tabelas);

p = porcentagem diária média de horas anuais de brilho solar;

T = temperatura média (°C).

Os fatores de ajuste a e b são determinados em função da umidade relativa média, da duração do dia e da velocidade média do vento.

As duas metodologias citadas, especialmente a da Equação 3, têm sido utilizadas com boa aceitação no Norte de Minas Gerais e Nordeste do Brasil, ou seja, em regiões Semiáridas do País, pois são destacadas por dois fatores característicos destas regiões, que são as altas temperaturas associadas à alta incidência de horas-luz ao longo do ano.

### Coefficiente de cultura

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) varia de acordo com a cultura e com o estágio de desenvolvimento. Tal coeficiente pode ser obtido por meio de literatura internacional especializada (ALLEN et al., 1998) ou, preferencialmente, por meio da experimentação agrônômica realizada na região de interesse (SIMÃO, 2004). Ressalte-se também que, no caso da irrigação localizada, é necessário fazer o ajuste por meio da utilização de um coeficiente específico ( $K_{c_i}$ ) (SIMÃO, 2004). Para situações de estresse hídrico no solo também é necessário o uso de um coeficiente relacionado com a umidade do solo ( $K_u$ ) (ALLEN et al., 1998; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

### Evapotranspiração da cultura

Durante longo período, os métodos considerados como os mais precisos para determinação direta da evapotranspiração de uma cultura ( $ET_c$ ) – o que na prática nos permite determinar o  $K_c$  – foram os lisimétricos (que envolviam a pesagem ou a medida do volume de água percolada em sistemas fechados). Entretanto, na atualidade, já é possível medir diretamente a evapotranspiração real ( $ET_r$ ) em uma área de cultivo por meio do fluxo ascendente do vapor de água na atmosfera, em um método conhecido como *Eddy Covariance* (EC).





O método EC ou Covariância de Vórtices Turbulentos contém um anemômetro sônico que propicia uma medida direta da troca líquida, ou seja, da quantidade absorvida ou emitida de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), vapor d'água e calor entre uma superfície vegetada e a atmosfera. Tal método baseia-se no princípio que o fluxo vertical de uma grandeza, na camada superficial, é proporcional à covariância da velocidade vertical do vento e da concentração da grandeza.

Um sistema que compõe o EC foi instalado em área de cultivo de lima-ácida Tahiti no Norte de Minas, o qual propicia importantes informações relacionadas com o manejo da irrigação deste tipo de cultivo, conforme pode-se observar na Figura 1.

Por outro lado, em algumas situações, a necessidade de irrigação pode ser estimada a partir da determinação da água evapotranspirada por uma cultura, de uma forma simplista, no entanto, a  $\text{ET}_c$  pode ser determinada, conforme a Equação 5 (ALLEN et al., 1998):

$$\text{ET}_c = \text{ET}_0 \cdot K_c \quad (5)$$

em que:

$\text{ET}_c$  = evapotranspiração da cultura (mm/d);

$\text{ET}_0$  = evapotranspiração de referência (mm/d);

$K_c$  = coeficiente de cultivo (adimensional).

### Monitoramento agrometeorológico

A obtenção dos dados climáticos é fator-chave para a utilização da equação-padrão (Penman-Monteith), sendo que usualmente tem sido facilitada pelas estações meteorológicas automáticas. Também é possível o uso de dados em estações localizadas próximas à fazenda, para obtenção de parâmetros como estações do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) ou de aeroportos (fazendo-se o ajuste da velocidade do vento para altura do anemômetro de 2 m).

Em algumas regiões, como no Norte de Minas, uma rede de estações automáticas de alta qualidade com informações meteorológicas foi instalada (Fig. 2), por meio de parceria da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), EPAMIG, Universidade Federal de Minas

Gerais (UFMG) e Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), dentre outros parceiros, por meio de projetos financiados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), podendo ser obtidas mesmo pela internet acessando o ícone Dados Climáticos, no site da EPAMIG<sup>5</sup> (Fig. 3).

Quando nenhum tipo de dado climatológico é disponibilizado, o irrigante tem de buscar outro sistema de monitoramento, por exemplo, sistemas que têm como base o monitoramento indireto da umidade do solo, como Tensiômetro e Irrigas.

### MONITORAMENTO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO COM SENSORES DE MENOR CUSTO

#### Tensiômetro

O manejo de irrigação tem como finalidade a promoção do uso racional da água no setor agrícola, em especial nas áreas localizadas no Semiárido brasileiro que apresenta disponibilidade hídrica reduzida, permitindo, assim, uma maior



Figura 1 - Sistema de Eddy Covariance (EC) em área de cultivo de lima-ácida Tahiti, no Norte de Minas

<sup>5</sup>[www.epamig.br/meio-ambiente](http://www.epamig.br/meio-ambiente) (indisponível nos períodos de restrições eleitorais).



Fúlvio R. Simão

Figura 2 - Estação meteorológica automática no Norte de Minas

eficiência no uso da água e a sustentabilidade econômica, social e ambiental da prática de irrigação. O manejo correto da irrigação pode ser realizado com o auxílio de equipamentos denominados tensiômetros, os quais consistem em uma cápsula de porcelana porosa ligada a um tubo de PVC com tampa que a conecta a um medidor de tensão (vacuômetro) ou pela utilização do tensímetro (Fig. 4), que indica a força com que a água está retida no solo.

Para saber se os critérios adotados no manejo estão adequados ( $K_c$ , turno de rega), deve-se monitorar a umidade do solo, empregando-se o tensiômetro, onde é colocada a água (Fig. 5).

O tubo é inserido no solo com a cápsula posicionada em pelo menos duas profundidades desejadas, uma mais rasa (A) e outra mais profunda (B) (Fig. 6). Quanto mais seco o solo mais a cápsula perderá água e maior será a tensão registrada no vacuômetro ou tensímetro. Deve-se repor, periodicamente, a água no tubo de PVC, realizando a escorva e evitando a formação de bolhas de ar, as quais prejudicam a leitura do aparelho.

A altura da coluna de água dentro do tensiômetro deve ser descontada da leitura observada. Se o tensiômetro apresentar, por exemplo, uma leitura de 22 kPa e um comprimento de 0,5 m, representando 5 kPa ( $10 \text{ kPa} = 1,0 \text{ m de coluna de água} = 0,1 \text{ atm} = 0,1 \text{ bar}$ ), a tensão real será de 17 kPa ( $22 \text{ kPa} - 5 \text{ kPa}$ ).

O tensiômetro funciona adequadamente na faixa de tensão ou potencial de 0 a - 80 kPa, e não representa grande problema, porque a maior parte da água facilmente disponível dos solos usados em agricultura está retida dentro dessa faixa de



Figura 3 - Dados obtidos por meio da rede de estações instaladas no Norte de Minas acessados pelo ícone Dados Climáticos

Fonte: EPAMIG (2018).



Figura 4 - Equipamentos para o manejo correto da irrigação  
Nota: A - Tensiômetro; B - Tensímetro (medidor da tensão de água no solo).

Fotos: João Batista R. S. Reis

tensão, havendo a necessidade da obtenção da curva de retenção de água no solo, ou, pelo menos, dos teores de água do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) e da tensão de referência para realizar a irrigação (ALBUQUERQUE, 2010).

Ao controlar a irrigação por meio desses sensores instalados no solo, o momento de irrigar fica completamente independente do estabelecimento prévio de turnos de irrigação. Contudo, deve-se acompanhar o desenvolvimento do sistema radicular, para determinar a zona ativa das raízes e considerar a leitura da tensão ou do teor de água no solo feita no ponto médio dessa profundidade como a indicadora de quando irrigar.

### Irrigas

O Irrigas é um sistema desenvolvido para economizar água e garantir o crescimento das plantas. Trata-se de uma ou mais cápsulas porosas conectadas por meio de tubos a uma cuba transparente, ou a outro dispositivo. A cavidade da cápsula porosa e o tubo ficam sempre vazios, livres de água.

O sistema gasoso de controle de irrigação foi patenteado pela Embrapa e é

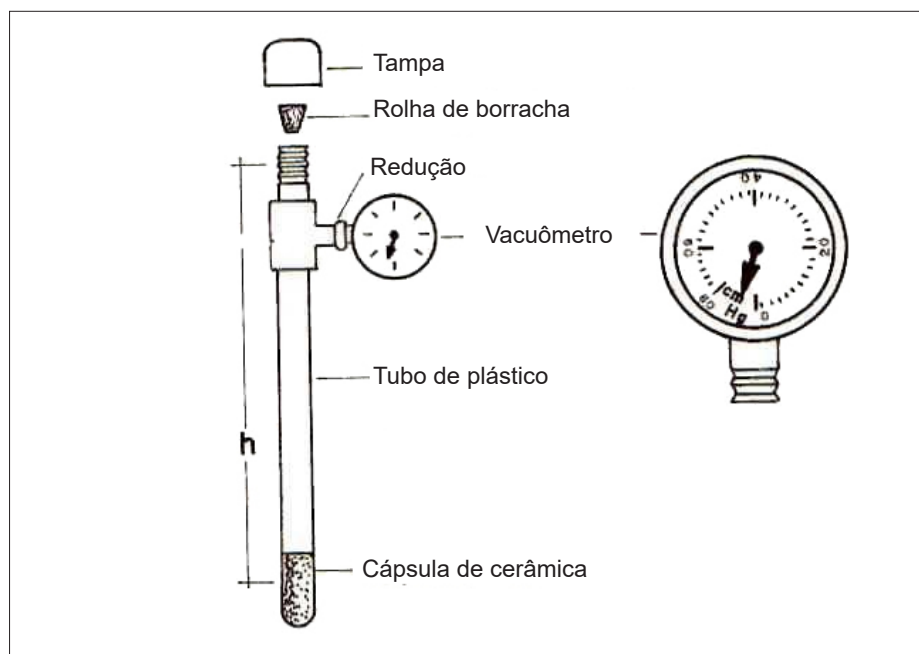


Figura 5 - Tensiômetro com vacuômetro para medir a tensão da água no solo  
Fonte: Faria e Costa (1987).

usualmente denominado por sua marca registrada, Irrigas. Os produtos Irrigas são também sistemas completos e acessórios desenvolvidos para o manejo de irrigação agrícola e doméstico, com uma variedade de níveis de sofisticação. Adicionalmente, o Irrigas é um sensor de sistemas tensiométricos para aplicações científicas em

Engenharia Agrícola, Fisiologia Vegetal e Geologia.

Para fins de manejo de irrigação, a cápsula é instalada no solo na profundidade efetiva do sistema radicular. Nesta situação a cápsula porosa entra em equilíbrio hídrico com o solo, em poucas horas.

No momento da medição do estado da água no solo, se este estiver úmido, a passagem de ar através da cápsula porosa é bloqueada, quando a cuba é imersa na água, isto é, a água não entra na cuba porque o ar não sai do sistema através dos poros da cápsula. Por outro lado, quando o solo seca e a umidade diminui para abaixo de um valor crítico, a cápsula porosa torna-se permeável à passagem do ar. Assim, estando o solo seco, quando se emborça a cuba transparente no frasco de água, o menisco ar-água movimentar-se nesta, no sentido de igualar com o nível da água no frasco (Fig. 7). Quando isto ocorre, o solo deve ser irrigado. Ao contrário, se a cápsula úmida bloquear a entrada de água na cuba, então, o solo ainda permanece suficientemente úmido e não deve ser irrigado (CALBO; CARVALHO; SILVA, 2005).

Em relação à quantidade ideal de Irrigas a ser instalado, somente um não é suficiente, para que se tenha um bom controle da irrigação, pois o solo não é uniforme, as plantas crescem de maneira diferenciada e a quantidade de água aplicada pelo sistema de irrigação não é igual em toda a lavoura. Portanto, devem ser instalados em pelo menos três locais representativos.

Em cada local deve ser instalado um mais raso, para indicar quando irrigar, e outro mais profundo, para indicar se a quantidade de água aplicada a cada irrigação não é demasiada. Assim, no total, são necessários, pelo menos, seis Irrigas por talhão.

O sistema Irrigas pode ser encontrado com diferentes numerações relacionadas com o tamanho dos poros da cápsula, sendo mais comuns os de 15, 25 e 40 kPa.

O de 15 kPa tem poros mais grossos, o de 40 kPa apresenta poros bem pequenos e o de 25 kPa tem poros de diâmetro médio. Velas de filtro comum apresentam poros de diâmetro médio ( $\approx 25$  kPa).

A indicação de solo seco ou úmido dependerá muito do tamanho dos poros, que são, na verdade, os espaços para a passagem de ar pela parede da cápsula e que podem ou não conter água.

O mais importante é saber que a cápsula com poros menores tende a segurar

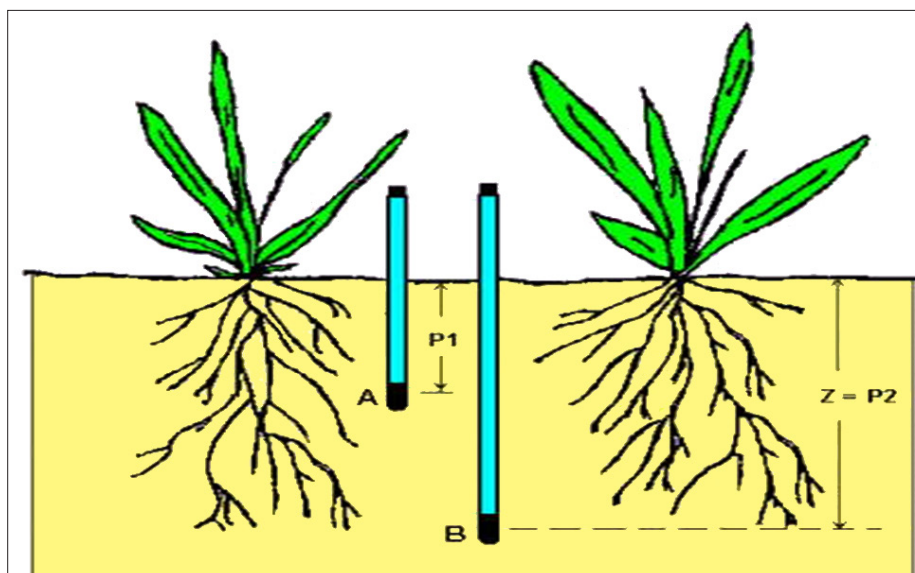


Figura 6 - Perfil de distribuição de tensiômetros instalados a duas profundidades do solo  
Fonte: Albuquerque (2010).

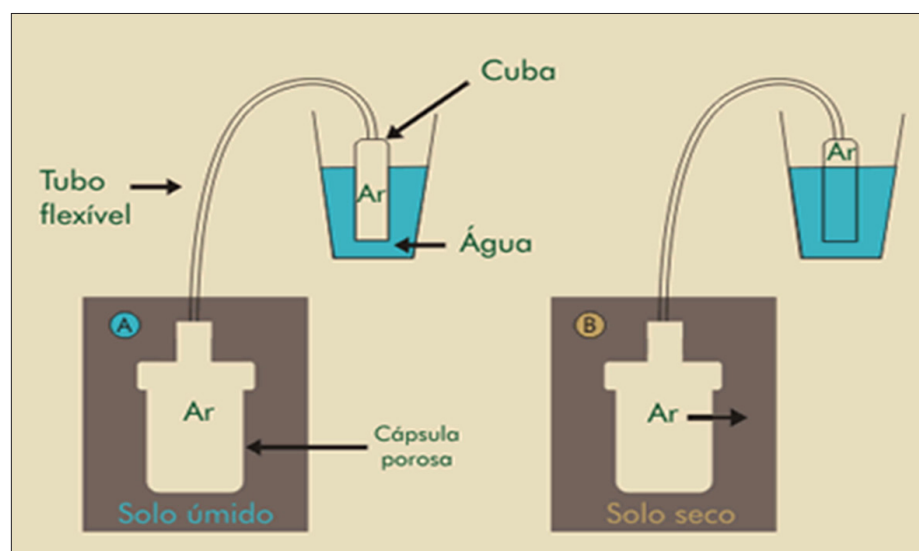


Figura 7 - Funcionamento do Irrigas para o controle da irrigação

a água com mais força do que outra com os poros maiores. Por isso, em um mesmo solo, na mesma profundidade de instalação e na mesma condição de umidade, cada Irrigas pode ter uma resposta diferente, ou seja, pode indicar necessidade de irrigação mais cedo ou mais tarde, dependendo da porosidade da cápsula.

Em relação ao tempo de duração que o Irrigas leva, logo após a irrigação, para indicar que o solo está úmido, pode variar de uma hora, em solos arenosos ou se a cápsula estiver próxima à superfície do solo,

até quatro horas, no caso de solos argilosos e quando a cápsula está a mais de 15 cm. A demora, no entanto, não interfere no manejo da irrigação, porque a leitura é geralmente feita apenas uma vez ao dia. No entanto, se a quantidade de água aplicada no solo for insuficiente, o Irrigas poderá permanecer indicando a condição de solo seco.

As aplicações do Irrigas ao manejo de irrigação são úteis em ambientes tão variados quanto casas de vegetação, vasos de plantas ornamentais e aplicações agrícolas diversas com sistemas de irrigação, como o

gotejamento, a microaspersão e em sulcos. Os produtos Irrigas fazem uso de sensores robustos e duráveis que têm suas propriedades físicas ajustadas na fabricação. Uma série de aplicações pode ser criada a partir de modelos interessantes adaptáveis a cada problema de irrigação.

Sensores Irrigas simples podem custar de três a cinco vezes menos do que tensiômetros comuns, são muito mais simples de usar, praticamente não envolvem trabalho de manutenção e a resposta à informação desejada é tão rápida quanto nos tensiômetros, e, certamente, mais confiável para agricultores pouco instruídos e para as aplicações de automação (CALBO; CARVALHO; SILVA, 2005).

O baixo custo, a facilidade de leitura, e o fato de ser um sensor robusto, que não precisa de manutenção, tornam o Irrigas o sensor de escolha, seja para manejo de irrigação com leitura manual, seja para manejo de irrigação automatizado. E a razão disso é que não é difícil adquirir e realizar a leitura de um número adequado de sensores Irrigas, necessários em cada aplicação de manejo de irrigação.

No perímetro de irrigação do Projeto Jaíba, no município de Jaíba, foi proposto um trabalho pela EPAMIG em parceria com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG), em que o sistema Irrigas poderá ser implantado em 20 áreas de produtores da cultura da bananeira, com a meta principal de estabelecer indicativos para a lâmina e tempo ótimos de irrigação diários, considerando o ciclo da bananeira e a inserção de um equipamento de baixo custo para realização do manejo, para proporcionar rendimentos satisfatórios na produção e na qualidade da cultura.

Um dos principais argumentos dos produtores rurais, para não manejarem a irrigação, é a complexidade e custo diferentes dos sistemas de manejo. Portanto, a proposta de simplificação por intermédio da aplicação do sistema Irrigas pode ser a resposta que o setor cobra da pesquisa. Visto que, esse sistema foi testado em

laboratório por pesquisadores e foi confirmada sua eficiência em comparações com tensiômetros.

### **ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA COM REDUÇÃO DA LÂMINA BRUTA DE IRRIGAÇÃO**

A eficiência de uso da água (EUA) é definida pela quantidade de biomassa produzida por unidade de água aplicada, conforme a Equação 6 apresentada por Gregory et al. (1997):

$$EUA = \frac{e_w}{1 + \frac{L+R+E_s+D}{ET_0}} \quad (6)$$

em que:

$e_w$  = eficiência de transpiração, que é a razão entre a quantidade de carbono fixada pela planta por unidade de água transpirada;

$L, R, E_s$  e  $D$  = perdas de água por condução, escoamento superficial, evaporação de água do solo e percolação profunda, respectivamente;

A EUA, quando considera a razão entre a produtividade de uma cultura e a lâmina total de água aplicada pela irrigação, é conhecida como produtividade da água ou função de produção da água (STANHILL, 1986). O aumento dessa eficiência, conforme a razão, pode ser conseguido com o incremento da produtividade sem aumentar a lâmina ou o volume de água aplicado à cultura, ou reduzindo a lâmina ou volume de água aplicado à cultura sem, contudo, afetar de forma significativa a produtividade.

O aumento da produtividade sem elevação da lâmina aplicada é possível, considerando a cultura sob nutrição adequada, com aumento da densidade de plantas. As densidades recomendadas para plantas, principalmente fruteiras, foram muitas vezes definidas em condições não irrigadas. Sob irrigação, o solo é mantido em condições de umidade próximas do limite

superior da disponibilidade de água, principalmente com a irrigação por aspersão e localizada, com o uso de microaspersores, difusores e miniaspersores. Nessa condição, é possível o aumento de densidade das plantas sem elevação significativa da lâmina total requerida, o que vem sendo feito tanto em nível de pesquisa como de produção comercial.

A redução do denominador da razão da EUA, que significa redução da lâmina total aplicada, pode ser feita atuando na lâmina líquida utilizada pela cultura, exclusivamente para transpiração. Consequentemente, seu crescimento e produção com a lâmina de água correspondente podem proporcionar perdas comuns na irrigação. Essas perdas são as que ocorrem durante a condução da água da fonte hídrica para as plantas, aquelas referentes ao escoamento superficial, à evaporação de água do solo e as que ocorrem por percolação profunda.

As perdas por condução de água (vazamentos em canais ou tubulações) e por escoamento superficial, apesar de ocorrerem por estar acima da superfície do solo, são visíveis e mais fáceis de ser eliminadas pelo usuário. Porém, isto não ocorre com perdas por evaporação e por percolação profunda, quando não são visíveis. As perdas por escoamento superficial podem ocorrer em caso de uso de irrigação com aspersão de água, como por microaspersão, difusores, aspersão convencional, pivô central ou linear e autopropelido em terrenos com declive. Nesse caso, essas perdas devem ser evitadas por meio de procedimentos para aumento da infiltração e quebra da energia cinética da água no solo, tais como uso de canteiros em nível, plantio em contorno, terraços, aplicação de matéria orgânica (MO) (DENG et al., 2006).

As perdas por evaporação de água da superfície do solo com irrigação são maiores para sistemas de aspersão, pela maior área molhada superficialmente, mas são também significativas na irrigação localizada. A transferência de água do solo para a atmosfera, de forma resumida, dá-se por



gradientes de potenciais entre a superfície do solo e o ar, que considera as variáveis microclimáticas (ALLEN et al., 2005) e o transporte no próprio solo, das camadas abaixo para a superfície deste. Esse transporte deve-se aos gradientes de potenciais, com diferenças de potenciais elevados, mas dependentes das distâncias em profundidade de movimentação da água, sendo que, à medida que estas aumentam, tais gradientes reduzem. Associado a isso, têm-se as condutividades hidráulicas não saturadas dos solos que apresentam altas reduções com a diminuição da umidade nas camadas superficiais, principalmente para solos arenosos, seguidos de solos de textura média e argilosa. Dessa forma, não se espera efeito da evaporação a profundidades relevantes da zona radicular, em condições de irrigação com frequências menores que cinco ou sete dias, sendo que a maior influência da evaporação ocorre nos 4,5 cm de profundidade da camada superficial no solo de textura arenosa e nos 7 cm da camada superficial em solos de textura média a argilosa aos 14 dias após a irrigação (WYTHERS; LAUENROTH; PARUELO, 1999).

A redução da evaporação de água na irrigação pode ser feita, basicamente, no próprio sistema de irrigação, usando cobertura do solo. Quanto menor a área molhada resultante do sistema de irrigação, menor a evaporação de água irrigada. Os sistemas de irrigação por aspersão são os de maiores áreas molhadas e condicionam as maiores perdas por evaporação, sem contar aquelas por arraste pelo vento e evaporação no ar, o que ocorre também com a microaspersão.

Os sistemas de irrigação localizada, como a microaspersão, podem variar a área molhada, conforme a vazão do microaspersor e pressão de serviço. Vazões acima de 100 L/h resultam em raios de ação próximos a 4 m, o que leva o sistema a funcionar com área molhada em 100%, quando se trabalha com espaçamentos adensados, o que descaracteriza a irrigação localizada além de manter as perdas por evaporação. O sistema de gotejamento do tipo ponto-fonte é o de menor área molhada e o de

menor perda por evaporação, embora, em condições semiáridas, a evaporação nas regiões úmidas da superfície do solo possa ser superior à evaporação numa condição de superfície do solo totalmente úmida, pelo efeito da microadvecção nessas condições (BONACHELA et al., 2001). O gotejamento em faixa contínua, característico de fitas gotejadoras ou tubos gotejadores com emissores, cujos espaçamentos são entre 30 e 50 cm, molha uma faixa contínua na superfície do solo, mas principalmente abaixo desta faixa. Isto mantém maiores perdas por evaporação do que os sistemas tipo ponto-fonte, os quais podem também ser usados com fitas ou tubos gotejadores, com maior espaçamento entre os emissores. Tanto no uso de faixa contínua, como no de ponto-fonte é necessário avaliar se os emissores atendem à capacidade de infiltração de água no solo, porque se isto não ocorre, haverá maior perda por evaporação, além de aplicação de excesso de água no solo, mesmo dentro do manejo programado. É o caso, por exemplo, de usar tubo ou fita gotejadora com emissores de vazão acima de 2 L/h, espaçados de 30 cm em solo argiloso de baixa infiltração de água. O sistema de gotejamento subsuperficial corresponde ao sistema de irrigação de máxima redução da evaporação de água, sendo que o uso de emissores a 15 e a 30 cm de profundidade reduz em 35% e em 75% a evaporação do sistema de gotejamento superficial, respectivamente (BEN-ASHER; PHENE, 1993).

A redução da evaporação de água do solo pelo uso de cobertura pode ser feita com material orgânico, como resíduos da própria cultura ou de outras; e com material sintético, como filmes plásticos, TNT, ráfia e outros. A grande vantagem do uso dos resíduos (mulch orgânico), é que, além de reduzir a evaporação, contribui para melhoria do solo quanto aos seus atributos físicos e químicos e aumenta o comprimento total de raízes do sistema radicular (SOUZA, 2016). O uso da cobertura orgânica com fitomassa da bananeira, cobrindo 100% da superfície do solo, permite uma redução de 20% na lâmina de irrigação,

conforme resultados de Souza (2016), com produtividades maximizadas.

As perdas por percolação são inerentes do processo de irrigação, uma vez que a lâmina ou o volume de água necessário para a produção de massa seca da planta passa por processos de infiltração e redistribuição no solo, em consequência dos gradientes gravitacionais e matriciais. Para o cálculo dessa lâmina ou volume, faz-se uso dos métodos que consideram o estado da água do solo, da planta e/ou que usam as variáveis meteorológicas que permitem estimar a evapotranspiração da cultura. A aplicação do manejo da água contribui de forma significativa para a redução da percolação profunda.

A presença de camada impermeável, em profundidades compatíveis com as profundidades dos sistemas radiculares, reduz ou elimina, naturalmente, a percolação. É sempre importante o conhecimento do perfil do solo nas áreas a ser irrigadas, e não só das condições químicas, mas também físicas do solo. Os filmes de material sintético podem ser usados para redução da percolação em culturas de hortaliças e fruteiras, como o abacaxizeiro de sistemas radiculares superficiais, com profundidade até 30 cm, normalmente usados em canteiros que requerem movimentação de terra. Na construção desses canteiros é removido o solo do local, de forma que se tenha uma profundidade compatível com a do sistema radicular da cultura. O filme plástico é colocado ao longo do comprimento do canteiro e o solo retorna sobre o filme. O canteiro é formado, portanto, com uma camada impermeável que vai impedir a percolação. No caso, a instalação do filme sobre a superfície do rolo no canteiro impede a evaporação e a percolação.

### Uso da irrigação com déficit

A produtividade das culturas em relação ao uso de água normalmente segue uma função polinomial quadrática. A taxa de aumento da produtividade com lâmina de água tende a reduzir, à medida que esta lâmina se aproxima daquela que maximiza



fisicamente a produtividade. Nessas imediações da curva da função de produção, os aumentos de produtividade são muito inferiores aos incrementos das lâminas de água (Gráfico 1 e 2). Isso indica que há possibilidade de redução da lâmina de água destinada ao uso consuntivo da cultura, com redução não significativa da produtividade das culturas. O uso dessa redução de água calculada para irrigação, chamada irrigação com déficit, deve levar em conta o conhecimento da cultura, de sua tolerância a estresse hídrico no solo (PEREIRA; OWEIS; ZAIRI, 2002) e das relações hídricas em suas fases fenológicas. Dois métodos conhecidos dessa alternativa de manejo da água do solo são: regulação do déficit de irrigação e secamento parcial da zona radicular das raízes.

A regulação do déficit consiste no manejo da irrigação com déficits de irrigação em estádios de desenvolvimento da cultura com pouca sensibilidade ao estresse hídrico, mantendo-se uma irrigação sem déficit nos outros estádios. Dessa forma, é possível reduzir o volume de água irrigada, sem prejuízos significativos à produtividade e à qualidade dos frutos.

De modo geral, as fases consideradas para fruteiras têm sido a vegetativa ou de crescimento vegetativo, a de floração, de crescimento e estabilização dos frutos. Em fruteiras, como mangueira, têm-se a fase pós-colheita que envolve podas de manutenção e adubação, seguida de condicionadores de estresse da planta condicionado por paralisantes do crescimento vegetativo (Paclobutrazol) ou condicionado por redução da irrigação para estresse hídrico do solo e da planta. Em seguida, tem-se a fase de floração e pegamento de frutos (fase I), crescimento inicial dos frutos (fase II) e estabilização dos frutos (fase III). As fases fenológicas mais sensíveis ao déficit de água são a de floração e pegamento de frutos e a do período inicial de crescimento dos frutos (COELHO FILHO et al., 2006).

A regulação de déficit de irrigação aplicada em lima-ácida Tahiti, no Projeto Jaíba, em Minas Gerais, com redução de até

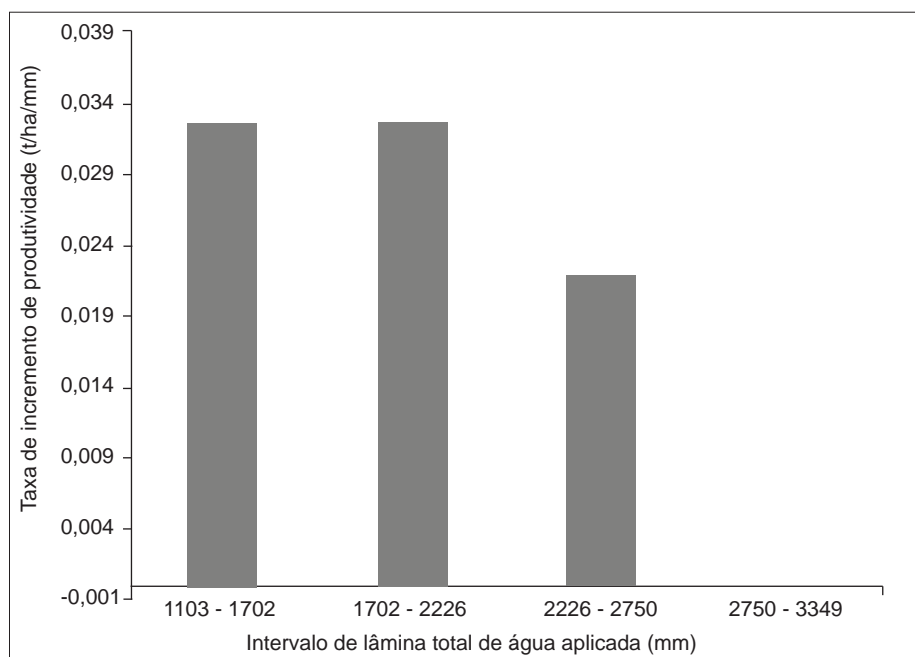


Gráfico 1 - Taxas de incrementos da produtividade com variação da lâmina de água

Fonte: Elaboração do autor (Eugênio F. Coelho).

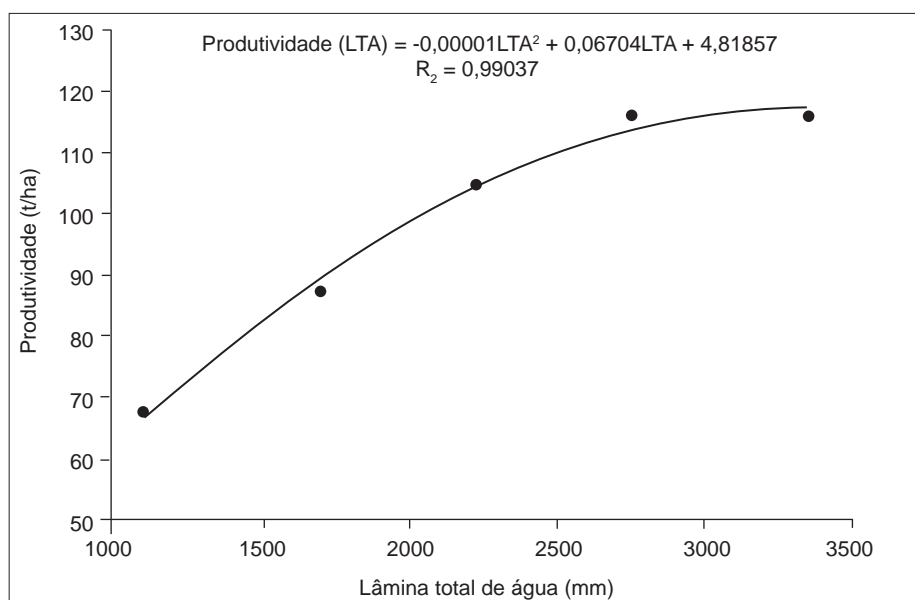


Gráfico 2 - Produtividade em função da lâmina de água aplicada

Fonte: Elaboração do autor (Eugênio F. Coelho).

45% da lâmina calculada, a partir da fase de crescimento dos frutos até a colheita, não resultou em redução de produtividade em relação à irrigação em toda a fase da cultura (COELHO FILHO et al., 2006). Esse resultado também foi observado para a mangueira cultivar Palmer (TEIXEIRA et al., 2012) no Projeto Jaíba, em Minas Ge-

rais. Nas condições do sudoeste da Bahia, no Projeto Ceraíma, a regulação do déficit de irrigação com reduções de 20%, 40% e 60% aplicado à cultivar Tommy Atkins também não influenciou a produtividade comparada àquela sob aplicação da lâmina total calculada (COTRIM et al., 2017). A regulação de déficit de irrigação também

foi avaliada em bananeira, considerando a cultura a partir do segundo ciclo, quando o bananal está continuamente com plantas suficientes para mantê-lo sombreado e com fitomassa na superfície do solo, contribuindo na cobertura morta. Nesse caso, as reduções foram de 20% e 40% da lâmina calculada nos períodos de dezembro a março, abril a julho e de agosto a outubro, as quais demonstraram não ter efeito nas produtividades, isto é, pode-se reduzir em cada um dos três períodos citados até 40% da lâmina correspondente a 110%  $ET_0$  em condições semiáridas do Norte de Minas. Com base nos resultados de diversas pesquisas realizadas em condições semiáridas, pode-se confirmar a eficiência do método de regulação do déficit de irrigação para culturas do limoeiro, mangueira e bananeira, o que indica possível viabilidade de uso em outras fruteiras.

O manejo da irrigação, ao usar o molhamento parcial do sistema radicular (MPSR), tem como propósito reduzir a lâmina de água aplicada em até 50%. Requer o uso de gotejamento com duas linhas laterais por fileira de plantas. Na prática, deve haver duas linhas de derivação para irrigar as fileiras de plantas, sendo que uma é para irrigar um lado e a outra para irrigar o outro lado. O método consiste em alternar a irrigação de forma que fique em apenas um lado da fileira durante determinado tempo, com alternância dos lados dentro de uma frequência preestabelecida. O secamento do solo de um lado da planta induz as raízes a produzirem ácido abscísico (ABA), sinalizando as folhas que passam a regular a abertura estomática, com redução parcial da abertura dos estômatos e, conseqüentemente, reduz a transpiração da planta, sem que esta manifeste sintomas de estresse hídrico acentuado. Esse método já foi avaliado por diversos autores (KANG et al., 2002; SPREER et al., 2007; ROSSINI, 2012; SAMPAIO et al., 2010), que verificaram relevante redução na lâmina de irrigação total aplicada, com aumento na eficiência de uso da água, sem ou com pequena redução na produção da

cultura. Essa redução na produtividade das culturas, conseqüentemente pela redução da transpiração e do aporte hídrico que a planta requer em condições normais, é um limitante do método para uso por produtores. As instabilidades climáticas e secas contínuas têm causado limitação de água para irrigação e, conseqüentemente, problemas de produção e sociais, por causa das reduções de áreas plantadas e empregos. As pesquisas nesse sentido têm focado em obter condições com a mínima redução de produtividade das culturas.

O uso do secamento parcial da zona radicular na cultura do limão Tahiti, em porta-enxerto de limão-cravo, em condições semiáridas do Norte de Minas, demonstrou viabilidade, quando sob frequência de alternância de lados da planta de sete dias, com economia de 50% de água durante um ciclo, e sob frequências de 7 e 14 dias, com redução de 25% da lâmina calculada, sem perdas, e com ganho médio de produtividade mínimo de 3%, em relação à aplicação da lâmina calculada (COELHO et al., 2009). Santos (2017) também verificou viabilidade de uso do secamento parcial da zona radicular do mamoeiro, com redução média da produtividade de 5%, com alternância de sete dias entre os lados irrigados e economia de 50% da água de irrigação. Este autor verificou que a frequência de sete dias com redução de 35% da lâmina calculada aumentou a produtividade média em 6%. O secamento parcial da zona radicular na cultura da mangueira, cultivar Palmer, no Norte de Minas, demonstrou viabilidade quando aplicado a partir do início do crescimento dos frutos até a colheita (TEIXEIRA et al., 2012), não tendo sido viável na fase de floração. No caso de aplicação na fase de crescimento e maturação dos frutos, a frequência de alternância de sete dias é a recomendável, sendo que Teixeira et al. (2012) obtiveram ganho de produtividade de 11% nessa frequência.

Os trabalhos de pesquisa têm mostrado viabilidade tanto do uso da regulação do déficit de irrigação, como do secamento

parcial da zona radicular como técnicas de uso da irrigação com déficit. Os resultados dessas pesquisas, no caso do secamento parcial da zona radicular, têm variado quanto à frequência de alternância, onde a de 14 e 21 dias em alguns trabalhos são viáveis e, em outros, não, considerando reduções iguais ou menores que 15% na produtividade em relação à irrigação total. Com isso, o resultado mais consistente, na maioria das pesquisas, tem sido o uso da frequência de sete dias de alternância dos lados, mantendo uma economia de 50% da água requerida. A redução de 25% e 35% da lâmina calculada com frequência de alternância de sete dias é ainda mais segura.

### **Irrigação em condições não padronizadas: há influência do resíduo de carvoaria vegetal (biocarvão) na produção de bananas?**

Em estudo no Campo Experimental de Montes Claros (CEMC), da EPAMIG, em Minas Gerais, está sendo avaliado o efeito conjunto da irrigação com a aplicação de resíduo de carvoaria vegetal (biocarvão) na bananicultura. Foi levantada a hipótese de que o biocarvão possa amenizar o efeito de déficits hídricos episódicos por meio de propriedades hidrorretentoras. O experimento utiliza irrigação com um microaspersor, para cada quatro plantas, sendo a dose do biocarvão utilizada de 8 t/ha em aplicação única. Já os tratamentos de irrigação corresponderam a porcentagens da lâmina recomendadas pelo manejo, com base em dados climáticos (80%, 100% e 117%). Pelos resultados do segundo ciclo (Gráfico 3), o uso de biocarvão não interferiu no efeito da irrigação na produtividade de bananas (nem houve efeito isolado dentro de cada nível de irrigação), indicando que o aproveitamento desse resíduo de carvoaria, pelo menos, não prejudicou a produção do bananal.

O experimento descrito ainda será repetido durante, pelo menos, cinco ciclos produtivos, sendo que também estão sob análise características relacionadas com a qualidade das bananas, vigor das bananei-





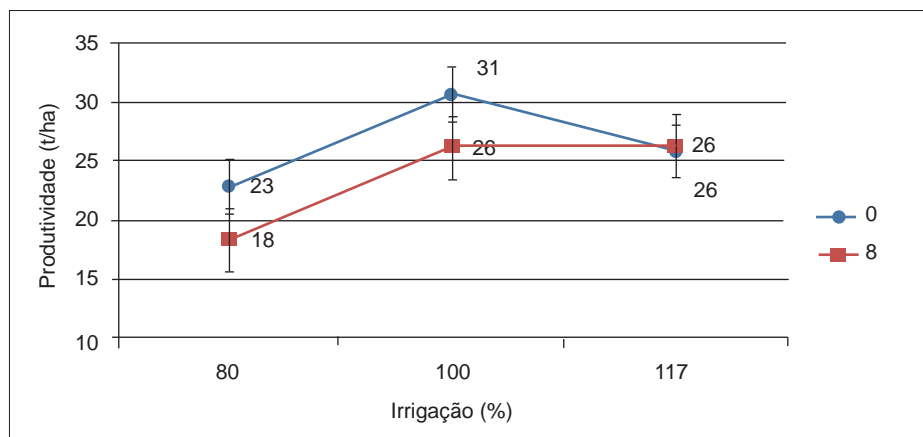


Gráfico 3 - Produtividade (bananas) alcançada no segundo ciclo do experimento

Fonte: Elaboração do autor (Fúlvio R. Simão).

Nota: A linha azul representa a não aplicação do biocarvão, enquanto a vermelha representa uma dose de 8 t/ha. As barras pretas indicam o erro padrão de estimativa.

ras, duração dos ciclos produtivos, longevidade do bananal, parâmetros econômicos, dentre outros. Espera-se, com este trabalho, desenvolver estratégias ótimas de uso de água com aproveitamento de resíduo na bananicultura irrigada, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que há alternativas viáveis para que o produtor irrigante utilize um manejo adequado de irrigação, com instrumentos simples e estratégias que propiciem auxílio na tomada de decisão, de forma que preserve os recursos hídricos e garanta o sucesso da agricultura irrigada.

## AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio por meio do Programa Pesquisador Mineiro (PPM), Bolsas de Incentivo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Fapemig/EPAMIG; à EPAMIG pela aprovação de Projeto relacionado com o trabalho no edital interno; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pelo financiamento e apoio de atividades de pesquisa desenvolvidas

em parceria; e a todos os demais colegas e equipe de apoio da EPAMIG, que têm dado suporte às atividades administrativas e de campo, relacionadas com os trabalhos descritos, e demais instituições fomentadoras e parceiras que indiretamente tenham participado e apoiado nossos projetos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P. de. Manejo da irrigação. **Informe Agropecuário**. Irrigação, Belo Horizonte, v.31, n.259, p.17-24, nov./dez. 2010.
- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 56).
- ALLEN, R.G. et al. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, n.1, p.2-13, Feb. 2005.
- BEN-ASHER, J.; PHENE, J.C. Analysis of surface and subsurface drip irrigation using a numerical model. In: JORGENSEN, G.S.; NORUM, K.N. **Subsurface drip irrigation: theory, practices and application**. Fresno: California Center of Irrigation Technology, 1993. p.185-201.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.
- BONACHELA, S. et al. Soil evaporation from drip irrigated orchards. **Irrigation Sci-**

**ence**, v.20, n.2, p.65-71, June 2001.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L. de C. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimento**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. 174p.

COELHO, E.F. et al. Molhamento parcial do sistema radicular do limoeiro em condições semiáridas do Norte de Minas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 19., 2009, Montes Claros. **Anais...** Os efeitos multiplicadores da agricultura irrigada. Montes Claros: ABID, 2009. 1 CD-ROM.

COELHO FILHO, M.A. et al. Uso re-gulado do déficit de irrigação nas fases de crescimento de frutos de lima ácida Tahiti irrigado por gotejamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **[Anais]...** Agricultura irrigada no Cerrado. Goiânia: ABID, 2006. 1 CD-ROM.

COTRIM, C.E. et al. Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira 'Tommy atkins' sob gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n.8, p.2229-2238, 2017.

DENG, X.P. et al. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. **Agricultural Water Management**, v.80, n.1/3, p.23-40, Feb. 2006.

EPAMIG. **Programas Estaduais de Pesquisa: Meio Ambiente**. Belo Horizonte, [2018]. Disponível em: <<http://www.epamig.br/meio-ambiente/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

FARIA, R.T. de; COSTA, A.C.S. da. **Tensió-nômetro: construção, instalação e utilização** – um aparelho simples para se determinar quando irrigar. Londrina: IAPAR, 1987. 24p. (IAPAR. Circular. 56).

GREGORY, P.J.; SIMMONDS, L.P.; WARREN, G.P.; Interactions between plant nutrients, water and carbon dioxide as factors limiting crop yields. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. Biological Sciences, London, v.352, n.1356, p.987-996, 1997.

KANG, S. et al. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the loess plateau of China. **Agricultural Water Management**, v.55, n.3, p.203-216, June 2002.

PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under scarcity. **Agricul-**

tural Water Management, v.57, n.3, p.175-206, Dec. 2002.

ROSSINI, D. **Relações hídricas e produtividade da mangueira 'Kent' sob secamento parcial de raiz em condições semiáridas.** 2012. 98f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

SAMPAIO, A.H.R. et al. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1141-1148, out. 2010.

SANTOS, D.L. **Efeito do secamento parcial na zona radicular do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em uma condição edafoclimática do Semiárido da Bahia.** 2017. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIMÃO, F.R. **Estudo de diferentes estratégias de manejo de irrigação em cinco importantes fruteiras na região Norte de Minas.** 2004. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SOUZA, E. de A. **Atributos do solo, crescimento e produção da bananeira sob fertirrigação com e sem cobertura morta.** 2016. 92p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

SPREER, W. et al. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan). **Agricultural Water Management**, v.88, n.1/3, p.173-180, Mar. 2007.

STANHILL, G. Water use efficiency. **Advances in Agronomy**, v.39, p.53-85, 1986.

TEIXEIRA, J. de C. et al. Secamento parcial do sistema radicular diferenciado na fase produtiva da mangueira nas condições do Norte de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22., 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: SBF, 2012. 1 CD-ROM.

WYTHERS, K.R.; LAUENROTH, W.K.; PARUELO, J.M. Bare-soil evaporation under semiarid field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, n.5, p.1341-1349, Sept. 1999.

Veja no próximo

# INFORME AGROPECUARIO

## Tecnologias para a produção de alimentos seguros

**Avanços e desafios no registro de agentes de controle biológico**

**Agrobiodiversidade no manejo de pragas**

**Biofábrica de ácaros e insetos predadores**

**Sucesso do controle biológico de pragas da cana-de-açúcar**

**Produtos derivados de plantas para o controle de pragas e doenças**

**Produção de milho e soja no Cerrado com uso de insumos biológicos**

**Leia e Assine o  
INFORME AGROPECUARIO**

**(31) 3489-5002**

**publicacao@epamig.br**

**www.informeagropecuario.com.br**

INFORME AGROPECUARIO



INFORME AGROPECUARIO

# Clima, recursos hídricos e produção agrícola: perspectivas, desafios e possibilidades para a gestão

*Williams Pinto Marques Ferreira<sup>1</sup>, Marcos Antônio Vanderlei Silva<sup>2</sup>, Cecília de Fátima Souza<sup>3</sup>*

**Resumo** - Cuidar da água é assegurar à atual e às futuras gerações não só o desenvolvimento, mas a sobrevivência. Garantir a segurança hídrica é um dever do Estado e uma responsabilidade de todos os cidadãos. Pela importância da gestão dos recursos hídricos, fez-se uma análise dos diferentes aspectos que relacionam o estudo do clima e a gestão do uso da água, bem como seus impactos no comportamento hidrológico e no setor fundamental de desenvolvimento econômico: a agricultura. Para o estado de Minas Gerais, considerando a Assessoria de Programas, Projetos e Pesquisa em Recursos Hídricos; Diretoria de Gestão e Apoio ao Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Gerência de Apoio aos Comitês de Bacias Hidrográficas e Articulação à Gestão Participativa e Núcleos de Assessoramento aos Comitês de Bacias Hidrográficas, foram feitas algumas inferências. Dentre estas, destacam-se ações conjuntas desses setores que podem ampliar os atuais programas em andamento e criar ferramentas para integrar os estudos locais dos órgãos de pesquisa e universidades, criando um produto específico com informações para cada bacia do Estado; incrementar os resultados das informações das mudanças climáticas aos cenários de expansão da irrigação no futuro Plano Diretor de Agricultura Irrigada; quantificar a produtividade futura das culturas, a demanda de água e sua utilização, bem como obter informações úteis para a gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Segurança hídrica. Bacia hidrográfica. Minas Gerais.

## Climate, water resources and agricultural production: perspectives, challenges and possibilities for management

**Abstract** - Caring for water is to ensure the present and future generations not only development but survival. Providing water security is a duty of the State and a responsibility of all citizens. Due to the importance of the management of water resources, the objective was to analyze the different aspects that relate the study of the climate and the management of water use, as well as its impacts on hydrological behavior and the primary sector of economic development related to water resources: agriculture. For the state of Minas Gerais, considering the Assistance of Programs, Projects and Research in Water Resources; Directorate of Management and Support to the State System of Management of Water Resources; Management Support to the Committees of Hydrographic Basins and Participatory Management Arrangement, and Advisory Groups to the Committees of Hydrographic Basins, some inferences could be made. Among these, it is highlighted that joint actions of these sectors can expand current programs in progress and create new tools to integrate the local studies of the research and university bodies, creating a specific product with information for each state basin; Increase the results of the report on Climate Change to the scenarios of Expansion of irrigation in the future Irrigated Agriculture Director Plan; To quantify the future productivity of crops, water demand and its use, as well and to obtain useful information for the management of water resources in the state of Minas Gerais.

**Keywords:** Climate change. Water safety. Watershed. Minas Gerais.

<sup>1</sup>Agrometeorologista, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Café/EPAMIG Sudeste, Viçosa, MG, williams.ferreira@embrapa.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, D.Sc., Pesq./Prof. Adj. UNEB, Barreiras, BA, maavsilva@uneb.br

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Ph.D., Pesq./Profª Associada UFV, Viçosa, MG, cfsouza@ufv.br



## INTRODUÇÃO

Com o objetivo de discutir sobre a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável, chefes de Estado de 193 nações reuniram-se na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Natural, que ocorreu no Rio de Janeiro, em junho de 2012. Nesse encontro foram propostas mudanças, sobretudo no modo como os recursos naturais do Planeta estavam sendo usados. Essa conferência tornou-se mais conhecida como Rio+20, já que, além de contribuir para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas, marcava os vinte anos de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, chamada Rio-92, que também havia ocorrido no Rio de Janeiro, no ano de 1992. Desde esse evento o Grupo de Desenvolvimento das Nações Unidas buscou facilitar a implantação da agenda de desenvolvimento futuro que iria suceder as Metas de Desenvolvimento do Milênio, além do ano de 2015, ou seja, surgia a campanha liderada pelas Nações Unidas conhecida como O Mundo que Queremos.

Um dos desdobramentos dessa campanha foi o conceito “O Mundo da Água que Queremos”, o qual é aberto a diferentes interpretações, associadas às percepções de cada pessoa ou organização acerca de um futuro desejado com garantia de alimentos, assegurada pela produtividade agrícola, desenvolvimento tecnológico e humano que assegure a subsistência de toda a vida no planeta Terra. Todavia, qualquer que seja a visão utópica de mundo que se crie, esta não pode ser alcançada sem o uso correto dos recursos terrestres e oceânicos e, principalmente, o fornecimento sustentável de água.

Apesar de, aproximadamente, 75% de toda superfície terrestre ser coberta por água, o que para muitos pode parecer um dado tranquilizador, este recurso é de uso limitado. Segundo a World Health Organization (WHO, 2006), apenas 2,5%, ou seja, aproximadamente 35 milhões de km<sup>3</sup> da água disponível é considerada água doce (Fig. 1).

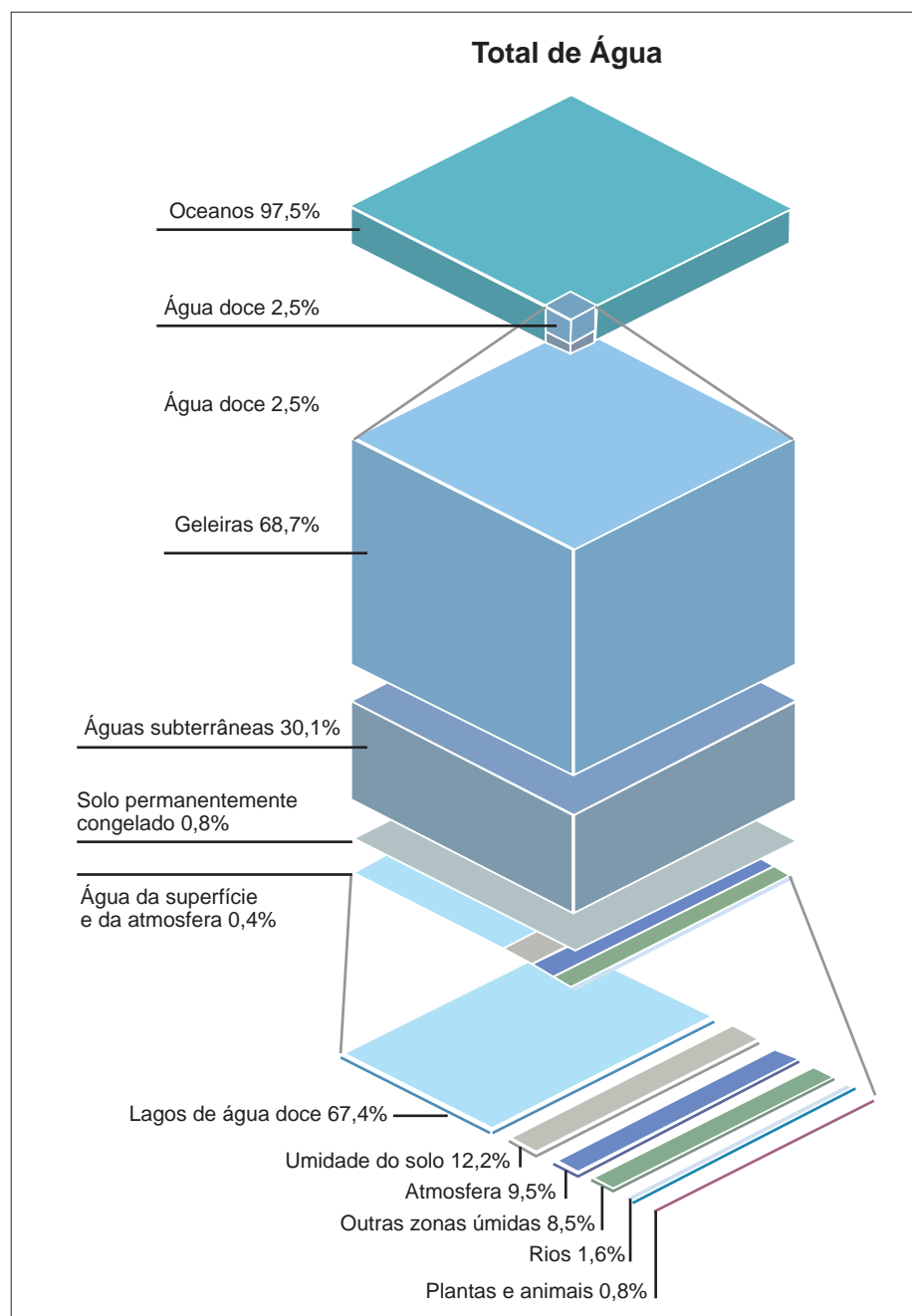


Figura 1 - Distribuição global da água no mundo

Fonte: WHO (2006).

Com base nos dados citados, para o desenvolvimento de uma gestão ativa dos recursos hídricos de uma determinada região é necessário o conhecimento dos aspectos técnicos referentes aos parâmetros físicos, das demandas atuais e futuras, além do perfil de usuários dos recursos hídricos.

A preocupação crescente com o aumento da população mundial, com a degradação dos recursos naturais e com a

sustentabilidade da agricultura tem exigido esforços no desenvolvimento de estratégias e práticas adequadas a partir do melhor entendimento das relações entre a agricultura e o clima, sobretudo da precipitação. Essa preocupação torna-se mais proeminente quando se sabe que o estado de Minas Gerais, tomando-se como base as projeções de produção de grãos, aumentará, entre 2017 e 2027 (MINAS GERAIS, 2017), aproxima-

damente 5,99% e 17,6%, respectivamente, a sua área colhida (em unidades de 1 mil hectare, com taxa de crescimento anual de 0,58%) e produção (em unidades de 1 mil toneladas, com taxa de crescimento anual de 1,63%). Tais informações preocupam, pois demandam um gerenciamento de produção que envolva a gestão de recursos hídricos mais efetiva no Estado, pois Minas Gerais é o segundo Estado em maior número de lavouras no País.

Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o planejamento e o processo de tomadas de decisão, que resulte em menores impactos ambientais e no aumento da resiliência da agricultura, tem sido um dos objetivos das instituições governamentais ligadas à agricultura, ao ambiente e aos recursos hídricos. Sabe-se que as mudanças climáticas, projetadas pelos modelos climáticos para o século 21, poderão afetar significativamente os rendimentos agrícolas e, conseqüentemente, a segurança alimentar.

Assim, a presente análise tratou dos diferentes aspectos que relacionam tanto o estudo do clima e a gestão do uso da água, como seus impactos no comportamento hidrológico e no setor fundamental de desenvolvimento econômico (relacionado com os recursos hídricos): a agricultura. Foram desdobradas as temáticas: água (segurança hídrica, uso e custo); clima e mudanças climáticas e tendências hidrológicas e modelagem agrometeorológica como ferramenta de gestão.

## CLIMA E ÁGUA NO BRASIL

O território brasileiro contém cerca de 12% de toda a água doce do Planeta. Ao todo, são 200 mil microbacias espalhadas em 12 regiões hidrográficas, como as Bacias do São Francisco, do Paraná e a Amazônica (a mais extensa do mundo, sendo 60% dela localizada no Brasil). É um enorme potencial hídrico, capaz de prover um volume de água por pessoa 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) – de 1.700 m<sup>3</sup>/s por habitante por ano. Apesar da abundância, os recursos hídricos brasilei-

ros não são inesgotáveis. O acesso à água não é igual para todos. As características geográficas de cada região e as mudanças de vazão dos rios, que ocorrem por causa das variações climáticas ao longo do ano, afetam a distribuição desse recurso natural.

O Brasil, com suas dimensões continentais, apresenta área correspondente a, aproximadamente, 1,6% de toda a superfície da Terra. A grande extensão territorial do Brasil proporciona ao País uma enorme diversidade de paisagens, topografia, fauna, flora e climas. Cortado ao sul pelo Trópico de Capricórnio, apresenta 92% do território na zona intertropical (entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio), os 8% restantes estão na zona temperada do Sul (entre os Trópicos de Capricórnio e o Círculo Polar Antártico).

Por essas características motivadas pela extensa área territorial, as diferentes regiões brasileiras têm suas condições de tempo e de clima influenciadas ao longo do ano por diferentes sistemas atmosféricos meteorológicos de micro, meso e macroescala dentre os quais podem ser citados os seguintes eventos: El Niño-Oscilação Sul (ENOS); sistemas frontais com as frentes frias, quentes, estacionárias e oclusas; zona de convergência intertropical (ZCIT); ciclones tropicais, extratropicais, e anticlones, como a Alta da Bolívia; Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs); tornados, complexos convectivos de mesoescala (CCM); efeito das brisas marítima e terrestre; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), entre outros.

Dentre os fenômenos meteorológicos que mais afetam o tempo no dia a dia, encontram-se aqueles que se caracterizam como de grande escala, com dimensões maiores que algumas centenas de quilômetros e duração da ordem de um dia até meses. Nessa escala, os que mais influenciam o tempo e o clima no Brasil são a ZCIT e a ZCAS, as frentes frias, os ciclones e anticiclones.

As projeções para o clima no futuro indicam mais umidade e mais processos dinâmicos ocorrendo na atmosfera, de modo que ventos extremos, assim como outros

fenômenos, podem ocorrer com maior frequência e intensidade. Os eventos climáticos extremos ocorrem de muitas formas, como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tornados, inundações, incêndios florestais, entre outros, e revelam a significativa vulnerabilidade e a exposição de alguns ecossistemas, e a necessidade política voltada para as mudanças climáticas.

Resultados descritos nos últimos relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), que foi criado em 2009, ratificam os resultados publicados no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC – Fifth Assessment Report (AR5) e Gerenciamento dos riscos de eventos extremos e desastres – Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX), preconizando a provável continuidade no aumento de temperatura e de frequência de eventos extremos. Todavia, as principais incertezas sobre o comportamento futuro do clima ocorrem em relação ao ciclo hidrológico no Hemisfério Sul.

No tocante às chuvas, para as Regiões Sul e Sudeste está previsto aumento dos extremos pluviais, que contribuirão para a maior frequência de desastres naturais, como deslizamentos e inundações e, conseqüentemente, tragédias. Para algumas regiões, os modelos simplesmente comportam-se como cegos, não permitindo maiores inferências acerca do clima futuro.

O aumento na frequência e na intensidade de eventos extremos certamente irá causar no meio agrícola impactos adversos, aumentando os custos de produção e modificando a produtividade, pondo em risco a segurança alimentar do País. Todavia, todas as previsões procedem de modelos matemáticos que realizam o prognóstico do clima futuro, com base em diferentes processos físicos e considerando diferentes escalas de tempo e de espaço, bem como resolução muito baixa, fato que aumenta a incerteza na confiança dos resultados esperados.

Quanto ao impacto na agricultura, normalmente não são considerados ele-



mentos de difícil mensuração nos modelos, como, por exemplo, o impacto potencial de avanços tecnológicos, tais como a adoção do plantio direto ou outras práticas de agricultura de conservação eficientes em recursos, como o sistema de cultivo Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que, sem dúvida, é mais resistente ao impacto das mudanças do clima, quando comparado aos tradicionais sistemas de cultivo intensivo. A adoção de novas variedades ou a melhoria na gestão dos recursos hídricos e a expansão dos perímetros irrigados, fatores que atuam diretamente sobre a produtividade, são de difícil consideração por parte dos modelos, sendo que tais tecnologias, quando adotadas de maneira correta, atuam como uma medida de adaptação às mudanças climáticas.

As incertezas quanto aos resultados previstos pelos modelos climáticos, provocadas pela limitação da representatividade de todos os fatores que penalizam ou não a agricultura, são fundamentais para a correta avaliação, tanto da vulnerabilidade dos sistemas, como dos impactos oriundos das mudanças climáticas, para alcançar sucesso na implementação de medidas de adaptação e de mitigação.

## CLIMA, PROVISOR DE ÁGUA EM MINAS GERAIS

O estado de Minas Gerais, pela localização não muito distante da costa brasileira, recebe influência do Oceano Atlântico e fica posicionado bem no centro de ação dos sistemas meteorológicos transientes provenientes do norte e do sul do Brasil. A atuação dos sistemas de grande escala, quando combinados com as características topográficas locais (planícies, terraços fluviais, tabuleiros, planaltos, chapadas, colinas, morros, montanhas e escarpas, entre outros), contribui para os diferentes tipos climáticos encontrados no Estado.

Com base na classificação de Köppen em Minas Gerais predomina o clima tropical seco, na estação do verão, em locais com altitude máxima de 700 a 800 m, situados mais ao norte do Estado, onde também caracteriza-se o clima temperado úmido,

com a estação do verão quente em locais situados na altitude entre 650 e 850 m. O clima tropical também pode predominar mais a noroeste do Estado, em locais com altitude máxima que varia de 750 a 800 m, porém, nessa região, esse clima apresenta estação seca no inverno.

Em Minas Gerais também é encontrado o clima temperado úmido com a ocorrência de inverno seco e verão quente nas altitudes entre 500 e 800 m na Serra do Espinhaço, e entre 800 e 850 m na região do Lago de Furnas e até 900 m no vale do Rio Grande. Todavia, o clima temperado úmido também é observado com a presença de verão temperado. Entretanto, por ser tal característica só encontrada na Serra da Mantiqueira, no sul do Estado, o clima temperado úmido de inverno seco e verão temperado pode também ser chamado clima tropical de altitude. Nessa Serra predomina o clima temperado úmido com inverno frio e seco e verão quente e úmido, os quais também são encontrados na Serra da Canastra e do Espinhaço, e no centro-sul do Estado, com destaque para Belo Horizonte. O clima temperado úmido, com a presença de inverno seco e verão curto e fresco, também predomina no Estado, porém esse tipo climático só é percebido na parte mais alta da Serra do Caparaó, por esta ficar localizada a menos de 120 km do Oceano Atlântico.

De modo geral, o atraso no início das chuvas, que são fundamentais para a agricultura, é menor na região Sul, Sudeste e no Triângulo Mineiro. E esse atraso aumenta à medida que se caminha em direção à região nordeste do Estado. Com relação à duração, o período chuvoso costuma ser mais longo e com maior volume de chuvas nas regiões da metade Sul de Minas Gerais e do Triângulo Mineiro, enquanto que no Norte e Nordeste do Estado ocorre exatamente o oposto, ou seja, o período chuvoso costuma ser mais curto.

O principal sistema responsável pelas condições do tempo sobre o Brasil, ao longo do ano, são dois anticiclones quase-estacionários que ficam posicionados um no Atlântico Sul e outro no Pacífico Sul. Tal fato deve-se à influência que esses sistemas

exercem, tanto no verão quanto no inverno, na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. As posições e intensidade modificam-se ligeiramente nas diferentes estações do ano, sendo que o Anticiclone do Atlântico Sul destaca-se pelo papel que desempenha, principalmente sobre o clima de Minas Gerais.

Outro sistema atuante é a Baixa do Chaco, que se forma sobre o Chaco Paraguai nos níveis mais baixos da atmosfera. Esse sistema é mais atuante sobre o Continente no verão, quando na alta troposfera configura-se num sistema fechado de circulação anticiclônica, denominado Alta da Bolívia, o qual apresenta grande variabilidade no seu posicionamento e intensidade ao longo de todo o verão.

Quando a Alta da Bolívia se estabelece em combinação com a presença dos VCANs, responsáveis pelos ventos dominantes dos quadrantes Norte e Leste que trazem o ar tropical quente úmido do Atlântico Norte, é comum a formação da ZCAS (Fig. 2), que é uma grande e prolongada zona de convergência de fluxos de umidade, que formam linhas de instabilidade, criando uma banda de nuvens carregadas que se estende desde o sul da Amazônia, atravessa todo o Brasil em direção à Região Sudeste, e quando alcança Minas Gerais, a topografia, principalmente da parte centro-sul do Estado, contribui para o maior desenvolvimento mecânico dessas linhas, o que as torna mais ativas sobre o Estado.

A instabilidade, característica marcante da ZCAS, facilita a ascensão do ar quente, que, em áreas de floresta ou corpos d'água, é mais úmido e, portanto, alimenta as nuvens já formadas, favorecendo a formação das nuvens *cumulus nimbus*, responsáveis por tempestades severas acompanhadas de trovoadas que ocorrem sobre Minas Gerais e são, algumas vezes, responsáveis por granizo. Quando, adicionalmente a esses dois sistemas, soma-se a presença da massa fria de ar, oriunda do Continente Antártico, que sobe do sul do Brasil na retaguarda das frentes frias, ocorrem os maiores volumes de chuva sobre Minas Gerais, no período do verão.



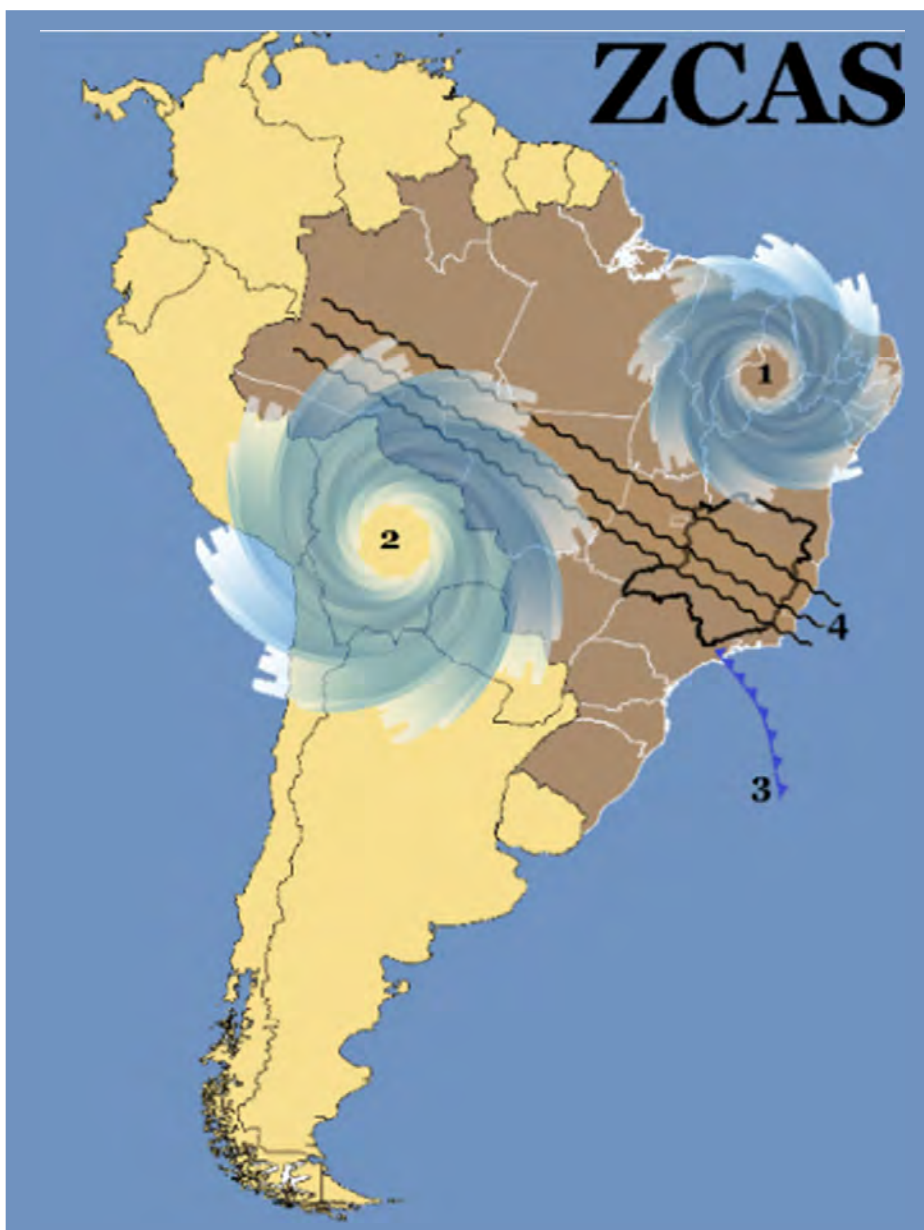


Figura 2 Localização das áreas de instabilidade presentes na ZCAS

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: 1 - Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN); 2 - Alta da Bolívia; 3 - Frente fria; 4 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

As frentes frias raramente alcançam o interior de Minas Gerais, no verão, já que, normalmente, são desviadas para o Atlântico na altura dos Estados do sul do Brasil. Todavia, nessa estação do ano ocorre a ação das frentes quentes provenientes da direção norte do Brasil. Apesar de no verão a ZCAS ser mais frequente que a entrada das frentes em Minas, as chuvas mais fortes são observadas em locais do Estado com o relevo mais acidentado,

revelando a importância da topografia da região na formação de chuvas convectivas ou orográficas, que ocorrem isoladas ou em conjunto, com a presença dos demais sistemas atuantes.

As mudanças bruscas do tempo no verão, quando ocorrem fortes chuvas em Minas Gerais, também são, normalmente, pela instabilidade formada com a mudança no escoamento atmosférico, causado pela diferença no atrito existente entre o oceano

e o continente. Essa configuração atmosférica, quando combinada com a entrada de frentes frias vindas do sul do Brasil, favorece a formação de um segundo centro de alta pressão (independente do anticiclone do Atlântico Sul) de menor proporção sobre o continente, próximo à costa brasileira, trazendo bastante umidade para o Estado.

No inverno, quando o Continente fica mais frio e os anticiclones polares, que dão origem à Frente Polar Atlântica, ficam mais fortes em Minas Gerais, as frentes frias vindas sul do Brasil são os sistemas mais atuantes que modificam o tempo e contribuem em maior proporção para a precipitação. É nesta estação do ano que as frentes são mais intensas e as passagens sobre o Estado são mais frequentes. Também no inverno, o céu azul com ausência de nuvens, por causa da subsidência (ar descendente da atmosfera superior em direção à superfície do solo) de ar provocada pela formação e deslocamento de anticiclones sobre Minas Gerais.

De modo particular, quando no inverno o anticiclone da Costa do Pacífico, que apresenta características de localização e de intensidade distintas dos anticiclones pós-frontais se intensifica e transporta mais ar frio antártico sobre a Cordilheira dos Andes. Este ar excedente pode superar essa barreira natural e favorecer a formação de geadas, principalmente no sul de Minas. Todavia, as geadas também ocorrem no sul de Minas pela atuação da baixa temperatura provocada pelo resfriamento radiativo noturno, associada à passagem das frentes frias sobre a região.

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Destaca-se que o último relatório do IPCC, lançado entre 2013 e 2014, resume as pesquisas científicas ocorridas, até determinado momento, ligadas ao tema mudanças climáticas globais.

Com base no Sumário para os Tomadores de Decisão do Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2015), são apresentados, na Figura 3, os impactos observados atribuídos à mudança climática, os quais foram descritos na literatura científica desde o

Fourth Assessment Report (AR4). Esses impactos foram atribuídos às mudanças climáticas em níveis de confiança muito baixo, baixo, médio ou alto, com a contribuição relativa nas indicações (maior ou menor), para sistemas humanos e naturais pelas oito maiores regiões do mundo nas últimas décadas.

Na Figura 4, são apresentados os riscos-chave regionais das mudanças climáticas e o potencial para redução de risco, por meio da adaptação e mitigação. Cada risco-chave é caracterizado de muito baixo para muito alto, para o presente e em dois prazos: curto prazo (avaliado entre 2030-2040), e longo prazo (avaliado entre 2080-2100).

No curto prazo, os níveis projetados para o aumento médio da temperatura global não divergem substancialmente dos diferentes cenários de emissão. Para o período a longo prazo, os níveis de risco são apresentados em dois cenários de aumento médio da temperatura global (2 °C e 4 °C abaixo dos níveis pré-industriais). Esses

AMÉRICA DO SUL E AMÉRICA CENTRAL	
<b>Neve e gelo, rios e lagos, cheias e secas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encolhimento glacial dos Andes (alta confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima).</li> <li>• Mudanças nos extremos de fluxo do rio Amazonas (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima).</li> <li>• Mudança nos padrões de descarga dos rios no oeste dos Andes (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima).</li> <li>• Aumento da vazão base do rio La Plata, além do aumento da mudança no uso do solo (alta confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). [27.3, tabelas 18-5, 18-6, e 27-3; WGI AR5 4.3]</li> </ul>
<b>Ecosistema terrestre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento na mortalidade de plantas e florestas causadas pelo fogo na Amazônia (baixa confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima).</li> <li>• Degradação da floresta tropical e regressão da área da Amazônia, além de tendência de referência no desmatamento e degradação da terra (baixa confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). [4.3, 18.3, 27.2-3, Tabela 18-7]</li> </ul>
<b>Erosão costeira e ecossistemas marinhos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do branqueamento de coral no oeste do Caribe, além de efeitos da poluição e distúrbios físicos (alta confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima).</li> <li>• Degradação dos mangues na costa norte da América do Sul, além de degradação causada por poluição e uso da terra (baixa confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). [27.3, Tabela 18-8]</li> </ul>
<b>Produção de comida e sustento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior vulnerabilidade dos modos de vida dos indígenas (que são produtores rurais) Aymara na Bolívia por causa da falta de água, além de efeitos no aumento do estresse social e econômico (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima).</li> <li>• Aumento na renda e expansão das áreas agrícolas no sudoeste da América do Sul, além de aumento causado pelo melhoramento tecnológico (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima). [13.1, 27.3, Tabela 18-9]</li> </ul>

Figura 3 - Impactos atribuídos à mudança climática desde o Fourth Assessment (AR4)

Fonte: IPCC (2015).

AMÉRICA DO SUL E AMÉRICA CENTRAL				
Risco chave	Questões de adaptação e Perspectivas da Adaptação	Condutores do clima	Prazo	Risco e potencial para a adaptação
Água disponível no semiárido e regiões dependentes do degelo na América Central; cheias e deslizamentos em áreas urbanas e rurais por causa de precipitações extremas (alta confiança).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração da gestão dos recursos hídricos.</li> <li>• Gestão de cheias urbanas e rurais (incluindo infraestrutura), sistemas de alerta, melhoria da previsão do clima e de escoamento; controle de doenças infecciosas.</li> </ul>			Muito baixo    Médio    Muito alto
			Presente	
			Período próximo (2030-2040)	
			Longo período (2080-2100)	2°C 4°C
Diminuição da produção e qualidade da comida (confiança média).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• desenvolvimento de novas variedades de cultura agrícola, mais adaptadas a mudanças climáticas (temperatura e seca).</li> <li>• Mecanismos compensatórios para impactos na saúde humana e animal devido à redução da qualidade da alimentação.</li> <li>• Mecanismos compensatórios para os impactos econômicos de mudança do uso da terra.</li> <li>• Fortalecimento dos conhecimentos e práticas tradicionais dos indígenas.</li> </ul>			Muito baixo    Médio    Muito alto
			Presente	
			Período próximo (2030-2040)	
			Longo período (2080-2100)	2°C 4°C
Propagação de doenças transmitidas por vetores em altitude e latitude (alta confiança).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de sistemas de alerta para controle de doenças e mitigação baseada no clima e outros inputs relevantes. Muitos fatores aumentam a vulnerabilidade.</li> <li>• Estabelecimento de programas para estender serviços de saúde pública.</li> </ul>			Muito baixo    Médio    Muito alto
			Presente	
			Período próximo (2030-2040)	
			Longo período (2080-2100)	2°C 4°C

Figura 4 - Riscos-chave regionais das mudanças climáticas e potencial para redução, por meio da adaptação e mitigação

Fonte: IPCC (2015).



cenários ilustram o potencial para a mitigação e adaptação para reduzir os riscos relacionados com as mudanças climáticas. Os condutores de impactos climáticos estão indicados por ícones.

Todavia, a academia de ciências The Royal Society, do Reino Unido, lançou, em novembro de 2017, o relatório intitulado “Climate Updates” que apresentou o estágio do conhecimento científico, até aquele momento, nas pesquisas voltadas às mudanças climáticas, e como esse conhecimento científico mais recente irá

influenciar na elaboração da próxima análise do IPCC (WOLF et al., 2017).

Merecem destaque as mudanças que ocorreram nos extremos da temperatura e da chuva e como irão mudar no futuro. Em síntese, as mudanças climáticas têm aumentado a frequência das ondas de calor, já o efeito sobre a chuva e as tempestades tropicais é mais complexo e mais difícil de detectar, mas há fortes evidências de que o aquecimento pode aumentar a intensidade daquelas tempestades tropicais consideradas como as mais fortes.

Desde 1992, inundações, secas e tempestades afetaram 4,2 bilhões de pessoas e causaram US\$ 1,3 trilhão em danos em todo o mundo. Mudanças futuras nos padrões das chuvas (Fig. 5) irão alterar a ocorrência de secas e, conseqüentemente, a disponibilidade de umidade no solo para a vegetação em muitas partes do mundo (KONCAGUL et al., 2018).

Em síntese, o IPCC, em 2013, abordou as mudanças na frequência e intensidade que deveriam ocorrer nos eventos extremos, e com base em pesquisa mais recente,

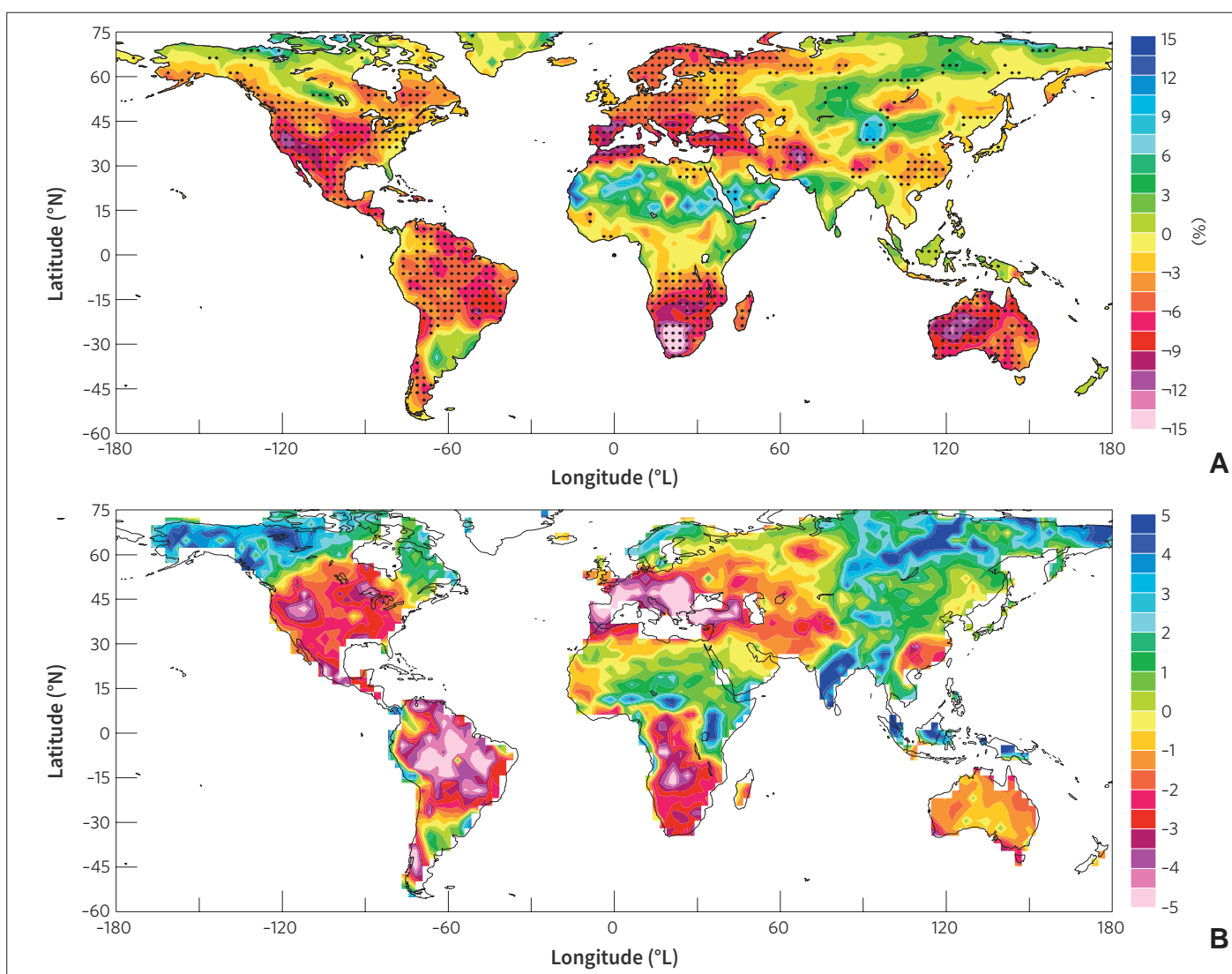


Figura 5 - Mudanças futuras previstas no nível médio de umidade do solo, na camada superior a 10 cm, em termos de porcentagem de 1980-1999 para 2080-2099

Fonte: Koncagul et al. (2018).

Nota: A - 1980 - 1999; B - 2080 - 2099.

Porcentagem com base em previsões de conjunto multimodelo, simuladas por 11 modelos desenvolvidos na quinta fase do Projeto Coupled Model Intercomparison (CMIP5), a partir do cenário de emissões representative concentration pathways (RCP) 4.5.

as chuvas fortes associadas a ciclones tropicais e outras tempestades extremas devem aumentar em uma atmosfera mais quente, assegurando que as mudanças nos eventos climáticos extremos irão prevalecer no futuro, validando as previsões do IPCC.

Outro ponto que merece destaque é a influência das mudanças climáticas na disponibilidade de água em todo o mundo. No AR5, as conclusões sobre esse tema basearam-se num pequeno número de avaliações em escala global da mudança nos fluxos dos rios e recarga, um número maior de estudos em escala local e nas mudanças do escoamento superficial, simuladas por modelos climáticos. Já com base nos estudos mais recentes, a forte relação entre mudanças na precipitação e no escoamento dos rios foram confirmadas por mais estudos globais e de escala local. As pesquisas que usam a atual geração de modelos climáticos também mostraram que o paradigma “*o molhado fica mais úmido e o seco fica mais seco*”, não necessariamente ocorre na escala local e em todas as estações.

Um pequeno número de estudos publicados desde o AR5 tem mostrado que mudanças na vegetação estimuladas pelo aumento de dióxido de carbono podem influenciar o ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas. Os efeitos variam de acordo com o clima e a vegetação predominante na bacia, especificamente se a quantidade de evaporação que ocorre for limitada pela quantidade de água disponível, ao invés da energia disponível. Há evidência de que os efeitos do dióxido de carbono podem ser substanciais em bacias hidrográficas e em ambientes semiáridos, onde o aumento desse composto químico leva ao aumento da cobertura vegetal e, portanto, a maior evaporação e menor escoamento superficial ou recarga. De modo geral, o efeito em escala regional e global continua, atualmente, incerto.

Segundo o mais recente relatório da The Royal Society, em síntese, a mudança climática levará a reduções nos recursos hídricos em muitas regiões, particularmente nos subtropicais secos. As mudanças irão variar entre regiões e permanecerá a grande incerteza na magnitude dessa mudança (WOLF et al., 2017).

## SEGURANÇA HÍDRICA

De acordo com o mais recente relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (KONCAGUL et al., 2018), a demanda mundial por água é estimada, atualmente, em torno de 4.600 km<sup>3</sup>/ano (4,6 teralitros de água doce), já perto do limite máximo de sustentabilidade, mas pode alcançar 5,5 mil km<sup>3</sup> ou 6 mil km<sup>3</sup> por ano, até o ano de 2050. Cerca de 10% do volume atualmente consumido é para uso doméstico, 70% para produção de alimentos e 20% para fins industriais.

O uso intensivo de água, para a produção agrícola e energética, deve crescer em nível mundial por volta de 60% e 80%, respectivamente, até 2025 (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012). A disponibilidade da pequena fração de água doce encontrada em rios, lagos e subsolo está cada vez mais ameaçada pelo uso da terra, pelo desmatamento e pelas mudanças climáticas.

De acordo com dados apresentados no Sumário Executivo “*Water for People Water for Life*”, das Nações Unidas, a água doce disponível é distribuída regionalmente (Fig. 6), sendo observadas disparidades continentais, em particular, a pressão exercida sobre o Continente Asiático, que, com apenas 36% dos recursos hídricos do mundo, sustenta mais da metade da população mundial.

Os recursos de água doce são ainda mais reduzidos pela poluição. Cerca de 2 milhões de toneladas de resíduos por dia são depositados em águas receptoras, incluindo resíduos industriais e químicos, humanos e agrícolas (fertilizantes, pesti-

cidas e resíduos de pesticidas). Embora dados confiáveis sobre a extensão e severidade da poluição estejam incompletos, uma estimativa da produção global de águas residuais é de cerca de 1.500 km<sup>3</sup>. Assumindo que 1 litro de águas residuais<sup>4</sup> polui 8 litros de água doce, o ônus atual da poluição pode ser de até 12.000 km<sup>3</sup> de água doce em todo o mundo.

Com base na distribuição da disponibilidade de água (Fig. 6) verificam-se grandes diferenças de disponibilidade de água e de precipitação nos diferentes continentes. Esse recurso hídrico é dito renovável, principalmente por sua principal fonte que são as chuvas. Quando estas chuvas ocorrem, são absorvidas pelas plantas e solos, sendo que essa mesma água volta para a atmosfera, por meio da evapotranspiração, e também para o mar, através dos rios, bem como para as demais zonas úmidas, alcançando, assim, os diferentes ecossistemas.

O caminho que a água percorre e que a torna renovável é conhecido como ciclo hidrológico. Nesse ciclo, a chuva revela-se como a principal fonte de água para o homem, que atua globalmente sobre esse ciclo, em especial sobre a parte do escoamento, quando são retirados 8% do total anual de água doce renovável, 26% da evapotranspiração anual e 54% do escoamento acessível.

Outra interferência humana tem ocorrido, segundo alguns cientistas, sobre o clima global, que já tem apresentado tendências perceptíveis para a ocorrência de condições meteorológicas extremas mais frequentes, ou seja, inundações, secas, deslizamentos de terra, furacões e ciclones. Nesse sentido, a precipitação é um dos elementos climáticos que, segundo relatórios do IPCC, aumentará a partir das latitudes 30°N e 30°S, mas muitas regiões tropicais e subtropicais provavelmente apresentarão precipitações mais baixas (FIELD et al., 2014).

<sup>4</sup>Água descartada após uso nas atividades humanas e, por apresentarem diferentes graus de impurezas, seu uso oferece risco à saúde humana e ao meio ambiente, popularmente denominada “água de esgoto”.



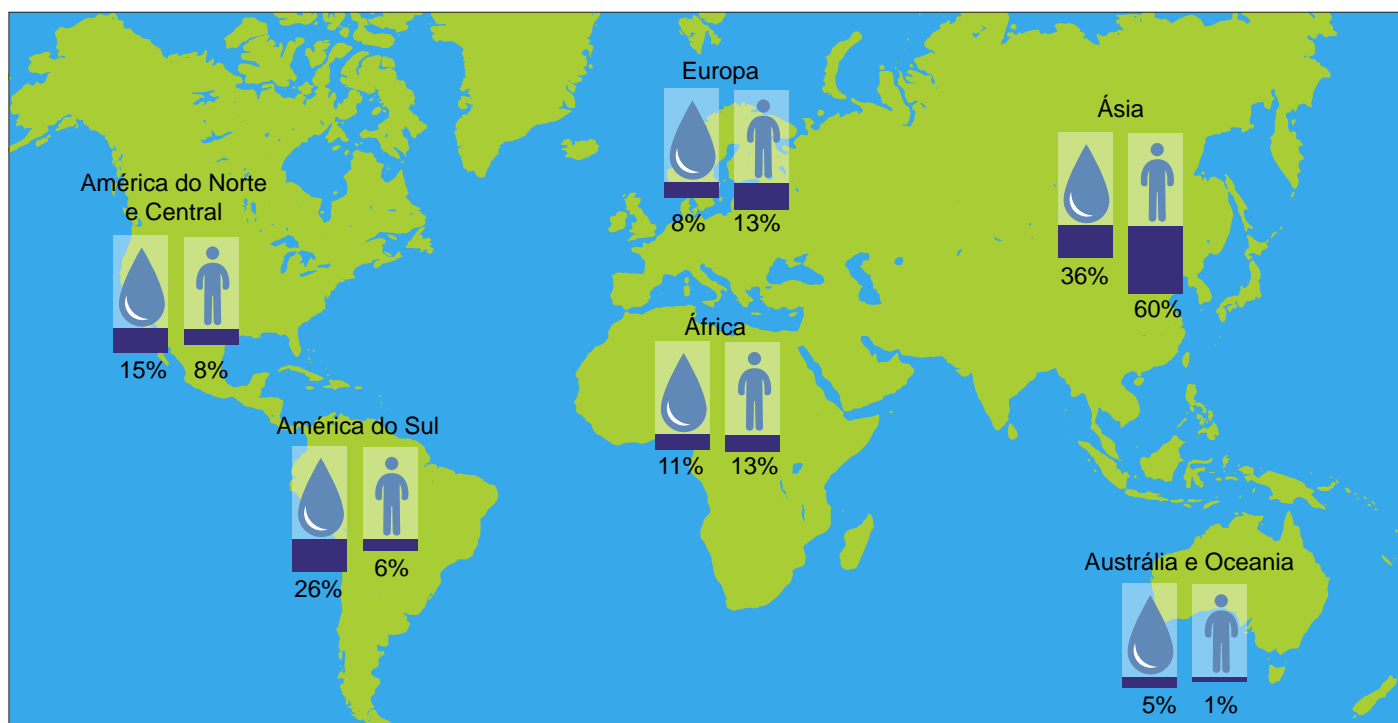


Figura 6 - O panorama global da disponibilidade de água versus a população  
Fonte: UNESCO (2003).

A mudança do clima causa impacto não somente na frequência, intensidade e severidade dos eventos extremos, mas também afeta as sociedades, especialmente aquelas muito vulneráveis, ou seja, as populações em risco. De modo geral, o impacto preciso da mudança climática nos recursos hídricos é incerto. Todavia, não é possível alcançar a segurança hídrica para a produção de alimentos sem conseguir, primeiramente, assegurar ao Planeta a estabilidade do clima desejado. Entretanto, o que pode ser considerado um ótimo clima para uma região, pode não atender às necessidades de outra. Mesmo dentro de uma mesma região, há diferentes condições climáticas, favoráveis ou não, dependendo das atividades de subsistência e do clima da região (GLANTZ, 2018).

Em termos de aplicabilidade técnica/científica da temática segurança hídrica,

um exemplo é a ação em desenvolvimento que ocorre na região oeste da Bahia, desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa em Interação Atmosfera/Biosfera, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), cujo objetivo principal é desenvolver, testar e avaliar economicamente sistemas de previsão hidroclimática, para viabilizar a governança regional e garantir a segurança hídrica, alimentar e energética do oeste da Bahia em anos muitos secos<sup>5</sup>.

A região do oeste da Bahia tem uma das maiores concentrações de pivôs centrais do País, e mais de 2 milhões de hectares cultivados em sequeiro. A ação citada propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento e previsão hidroclimática capaz de prover aos gestores regionais (setor governamental, agronegócio e sociedade civil organizada, na forma de

associação de irrigantes e de produtores) uma ferramenta de tomada de decisão que permita determinar o tamanho da área a ser irrigada, em tempo hábil (início da estação seca), em determinado ano, de modo que garanta a segurança hídrica, energética e alimentar no oeste baiano.

## USO DE ÁGUA

A água é vital para a vida e de acesso cada vez mais restrito, especialmente para as comunidades tradicionais e povos originários que sobrevivem à margem da sociedade moderna, com poucos recursos e sem influência política direta. Entretanto, cidades das sociedades industrializadas, como Flint, localizada no estado de Michigan, Estados Unidos, enfrentam crises hídricas associadas à qualidade da água para consumo humano. Aproximadamente, 842 mil pessoas morrem a cada ano de

<sup>5</sup>Projeto Segurança Hídrica, Alimentar e Energética no Oeste da Bahia (Chamada MCTI/CNPq no 19/2017 – Nexus I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado), sob a coordenação do professor Marcos Heil Costa, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e execução com as instituições colaboradoras: Universidade Federal de Goiás (UFG), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e University of Nebraska – Lincoln (UNL), EUA.

doenças diarreicas associadas à ingestão de água contaminada – quase metade são crianças com menos de cinco anos de idade. Outras cidades, como a Cidade do Cabo, na África do Sul, enfrentam crises associadas à quantidade de água, limitada para o consumo e para a produção de alimentos. Mais recentemente, cidades como a do Rio de Janeiro, entre outras do Brasil, tem experimentado condições semelhantes.

O volume de água necessário (pegada hídrica – conceito inspirado na Pegada Ecológica) para produzir uma quantidade específica de grãos e de carne é apresentado na Figura 7, sendo que o fornecimento de alimentos depende da disponibilidade sazonal da água e em quantidades adequadas às exigências de cada cultura. Alguns, por exemplo o arroz, prosperam apenas com grande abundância de água. Já outros, por exemplo o sorgo, desenvolvem-se bem em condições secas. E outros como o café, ainda precisam de ambas as condições para as diferentes fases do seu ciclo. Com um clima global mais quente, as incertezas que cercaram as atividades agrícolas no passado provavelmente aumentarão.

A água é de grande importância para todos os setores da sociedade e atender a todos os usos e usuários requer um intenso trabalho de planejamento e de gestão dos recursos hídricos. De modo geral, o processo produtivo de um bem de consumo demanda água, sendo a agropecuária considerada a atividade que mais consome água no Brasil.

Historicamente, Minas Gerais é o estado que possui a maior bacia leiteira e é o maior produtor de café do Brasil, portanto, conhecer a pegada hídrica de produção desses dois produtos é de fundamental importância.

Para a produção do café tipo exportação, no Brasil, são necessários 18.925 m<sup>3</sup> de água para cada tonelada produzida (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2007). Já a pegada hídrica obtida para a produção do café em manejo sombreado, de 24.190 m<sup>3</sup>/t, supera até mesmo à da pecuária bovina, que alcança 19.500 m<sup>3</sup>/t no Brasil.

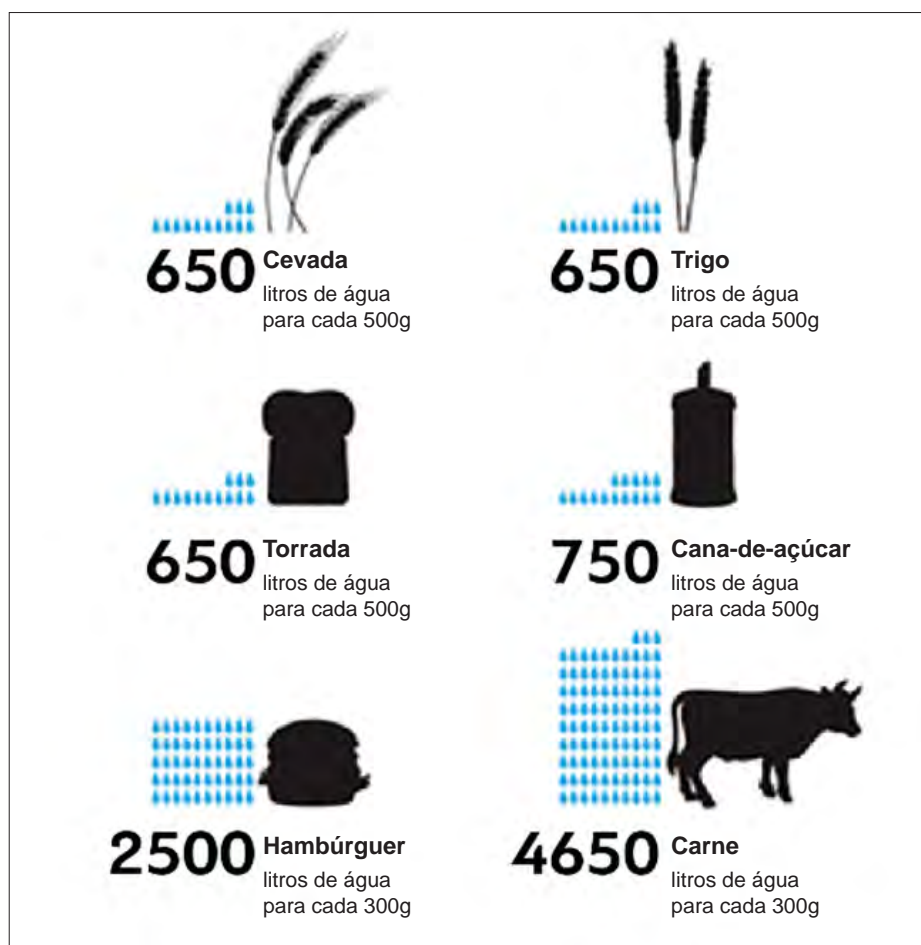


Figura 7 - Volume de água necessário para produzir uma quantidade específica de grãos e de carne.

Fonte: Adaptado de Glantz (2018).

Nota: Uma gota é equivalente a 50 litros de água virtual. Todos os valores têm como base em cálculos, dependendo da origem do produto e do processo de produção.

Em Minas Gerais foi realizado um trabalho recente com o propósito de calcular a pegada hídrica verde (água proveniente da chuva ou umidade do solo) e azul (águas de superfície ou subterrânea) da atividade cafeeira em manejo convencional e sob o manejo de sombra. A pegada hídrica cinza (águas poluídas durante o processo produtivo) na propriedade estudada foi neutralizada, sendo que os resultados revelaram que a pegada hídrica azul pouco contribuiu para a pegada hídrica total do café. Logo, práticas e manejos que visem aumento de produtividade serão efetivos na redução do consumo de água da atividade por tonelada de café beneficiado (SILVA, 2018a).

Outro aspecto a ser considerado é que a demanda por produtos de origem animal

tende a crescer com o aumento da população. Logo, nas próximas décadas, os riscos associados à demanda e escassez de água para a produção animal exigirão cada vez mais investimentos.

Considerando a produção animal, o gado de corte é estimado como responsável por 33% da pegada hídrica global e quase 10% da pegada hídrica global da produção agrícola total (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2014). As médias globais mostram variações muito pequenas, de 15.415 a 15.497 litros por quilo de peso, incluindo estimativas de água verde, azul e cinza. Também são encontradas variações relativamente grandes entre regiões e sistemas de produção, já que os sistemas de pastagem, por exemplo, têm um alcance de

16.353 – 26.155 litros por quilo de carne bovina, sistemas mistos de 11.744 – 16.869 litros por quilo de carne bovina e sistemas industriais de 3.856 – 13.089 litros por quilo de carne bovina.

Pesquisas também revelam que a variabilidade na pegada hídrica pode existir de fazenda para fazenda, sendo que a soma das pegadas hídricas pode variar de 1.934 m<sup>3</sup> até 9.672 m<sup>3</sup>, para cada quilo de carne (PALHARES; MORELLI; COSTA JUNIOR, 2017), ou seja, pode ocorrer muita variação de acordo com o sistema de produção.

Em se tratando de Brasil, os principais usos da água são para irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer. Segundo o último relatório acerca da conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, da Agência Nacional de Águas (ANA) (CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO BRASIL, 2017), as parcelas utilizadas de água podem ser classificadas em: Retirada – refere-se à água total captada para um determinado uso, como para abastecimento urbano. Consumo – refere-se à água retirada que não retorna diretamente aos corpos hídricos. De forma simplificada, é a diferença entre a retirada e o retorno, como a água retirada para abastecimento urbano menos a água que retorna como esgoto. Retorno – refere-se à parte da água retirada para um determinado uso e que retorna para os corpos hídricos, como os esgotos decorrentes do uso da água para abastecimento urbano (Fig. 8).

Com aumento estimado de, aproximadamente, 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas, a demanda por uso de água no Brasil é cada dia mais crescente, com previsão de que, até 2030, a retirada aumente 30%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e o processo de urbanização do País. Na Figura 9, é apresentada a água retirada e consumida em média, a cada ano no Brasil.

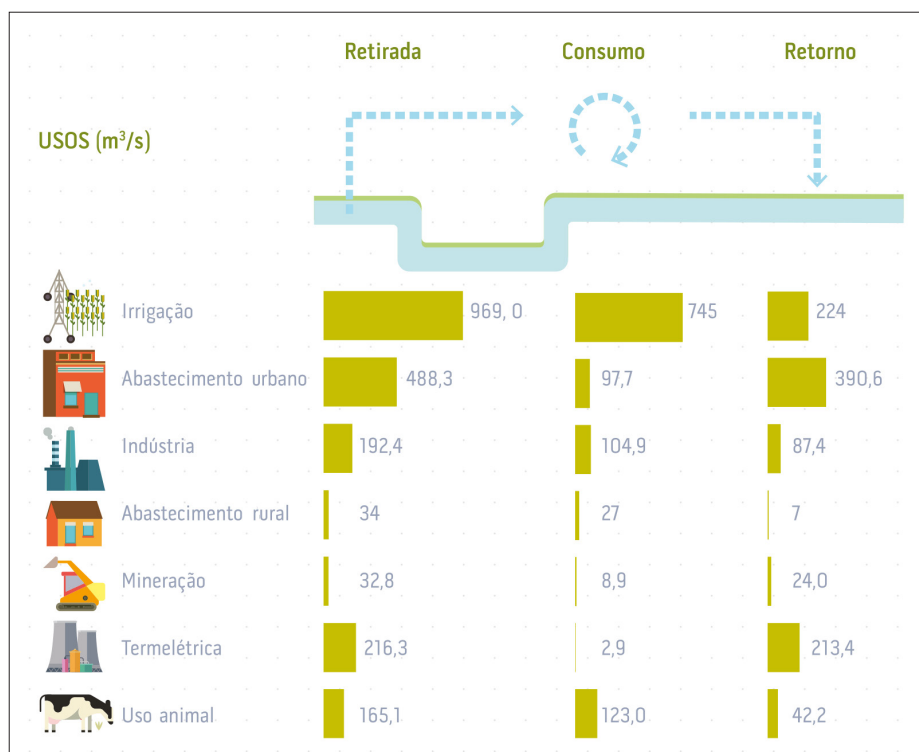


Figura 8 - Demandas por finalidade (retirada, consumo e retorno) – Brasil, 2016  
Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017).

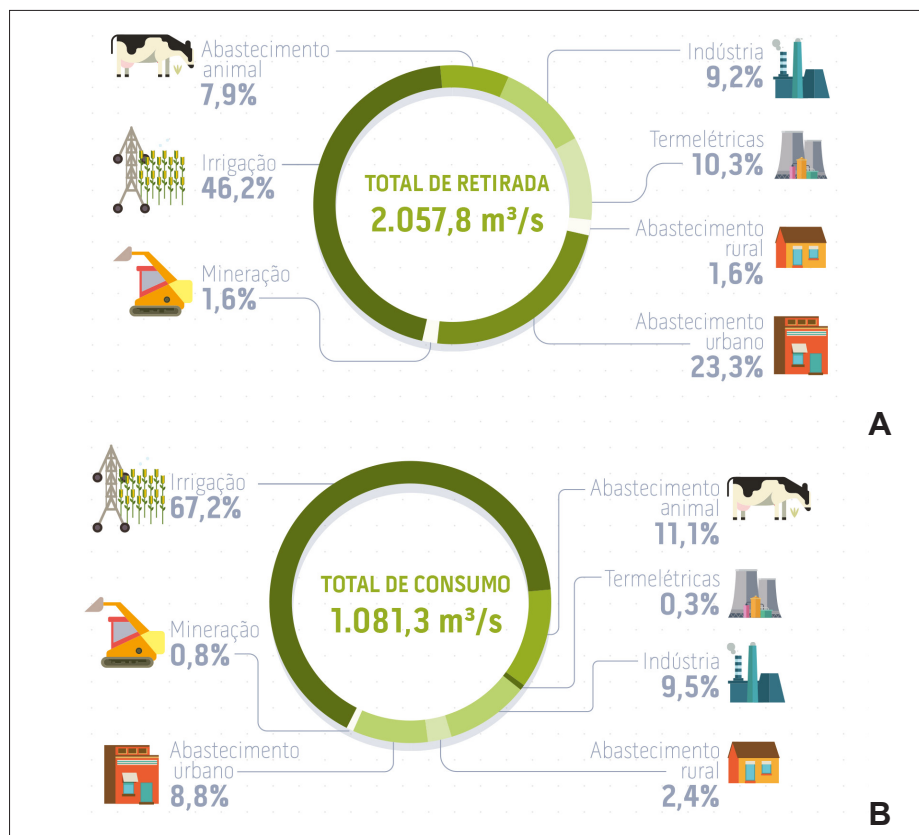


Figura 9 - Total de água retirada e consumida no Brasil – média anual  
Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017 (2017).

Nota: A - Retirada; B - Consumida.

Outro aspecto a ser considerado é a qualidade das águas resultantes, de fenômenos naturais e da atuação do homem, que adiciona um conjunto de componentes nos corpos d'água, comprometendo, assim, sua qualidade. No caso da atuação humana, a interferência pode ser a partir de lançamento de poluentes de forma concentrada, semelhante ao que ocorre com os resíduos industriais ou domésticos, ou mesmo de forma dispersa, como acontece na aplicação de defensivos agrícolas na agricultura.

Em uma pesquisa realizada por Rocha (2016), na segunda maior unidade da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Fig. 10), foi realizado um estudo para verificar a qualidade das águas superficiais da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) DO1, localizada quase em sua totalidade no estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de 17.571,37 km<sup>2</sup>, entre as latitudes 19°29'18"S e 21°11'7"S, e as Longitudes 43°49'55"O e 42° 5'17"O.

Esta unidade é composta pelas Bacias dos Rios Piranga (6.600 km<sup>2</sup>), do Carmo (2.278 km<sup>2</sup>), Casca (2.510 km<sup>2</sup>) e Matipó (2.550 km<sup>2</sup>), além da área incremental de outras bacias (3.626 km<sup>2</sup>). No sistema hidrológico, há uma predominância de 70% dos aquíferos das rochas cristalinas, 23% aquíferos xistosos, 3% quartzíticos e 4% sobre aquíferos porosos.

O fato é que, para essa região, há uma interferência marcada da atividade suinícola nas dimensões econômica, institucional, social e ambiental do desenvolvimento sustentável. Dentre os recursos passíveis de impactos pela produção suinícola, os hídricos são os mais afetados, por causa da natureza física do principal resíduo que é líquido, ou seja, água residuária.

Uma das características desse tipo de resíduo é o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) com a conseqüente diminuição do oxigênio livre na água, podendo vir a interferir no equilíbrio da biota aquática, com tendência à seletividade de espécies mais resistentes em detrimento das demais, provocando perda de biodiversidade.

Pelo provável aumento da turbidez da água, ocorre uma diminuição na taxa de

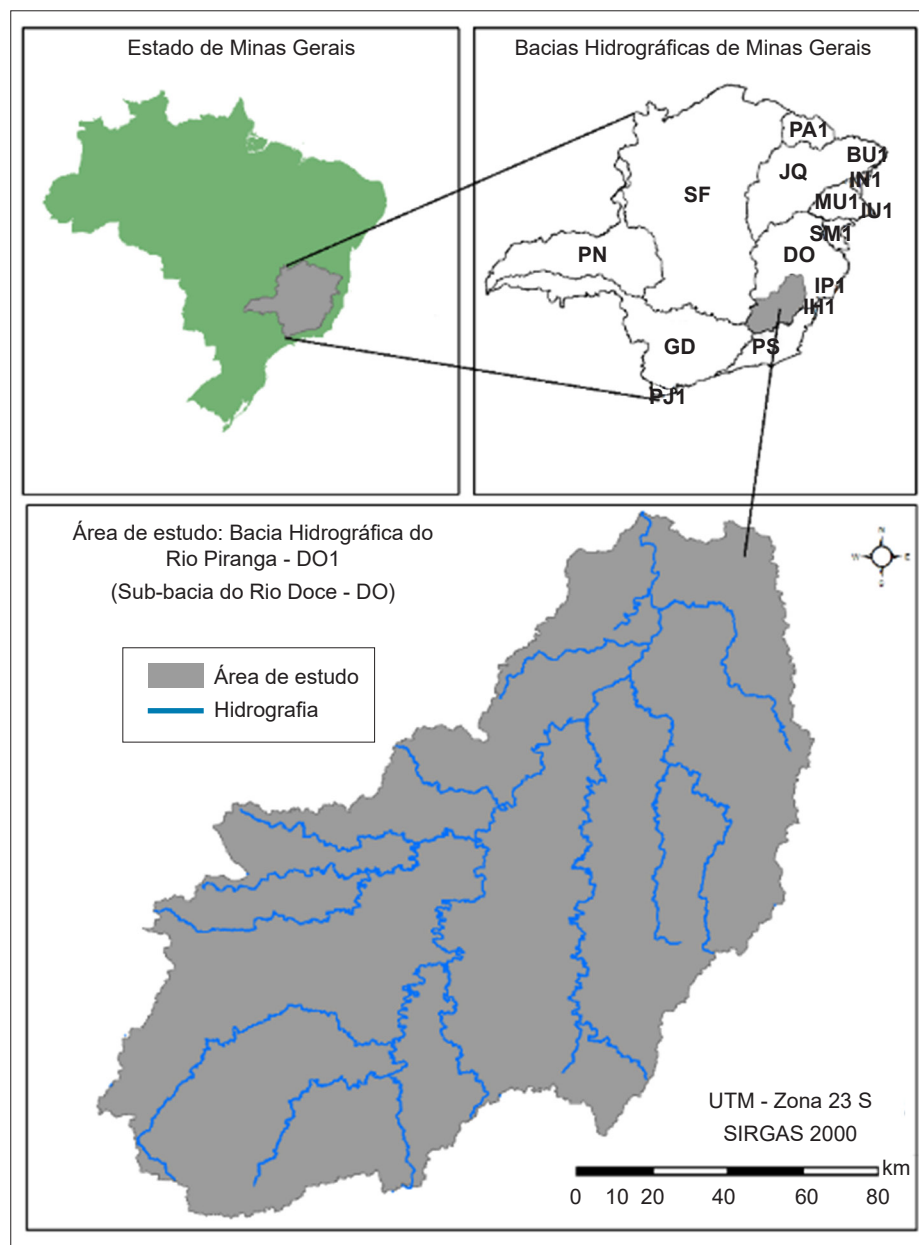


Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo

Fonte: Rocha (2016).

fotossíntese, contribuindo, ainda, com a diminuição do oxigênio livre.

Com a sedimentação da DBO, ocorre a formação de lodo de fundo promovendo um ambiente anaeróbio. Nessas condições, a decomposição da matéria orgânica (MO) gera gás sulfídrico, responsável por maus odores ao ambiente. Pela presença abundante de nitrogênio e fósforo e suas conversões em nitratos e fosfatos, respectivamente, ocorre a fertilização do meio aquático e o risco de eutrofização é eminente, podendo também promover a perda da qualidade da água.

O efetivo da suinocultura na área de estudo, com predominância para produção em ciclo completo, foi estimado em 846,692 mil cabeças, numa densidade média de 47 cabeças por km<sup>2</sup>, que geraram um total de 8,6 milhões de litros de água residuária por dia<sup>25</sup>, com a carga de DBO da suinocultura correspondendo a 3,3 vezes a da população residente na área de estudo (Gráfico 1), o que enfatiza o potencial poluidor desse volume de resíduos gerados.

Foram considerados na pesquisa o clima, a época do ano (período seco e

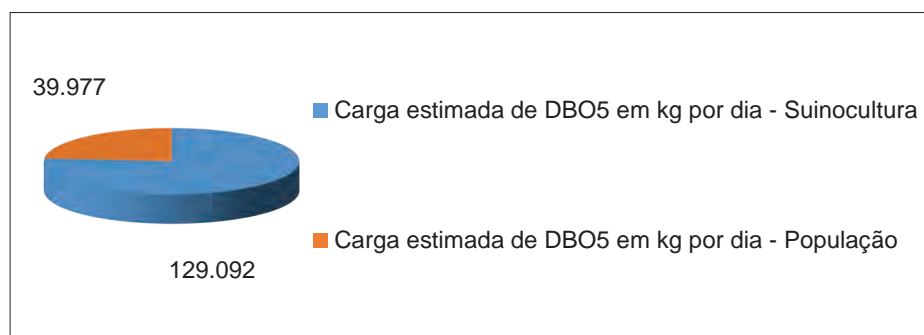


Gráfico 1 - Cargas estimadas de DBO5 da suinocultura e população residente na área de estudo

Fonte: Rocha (2016).

período chuvoso) e observadas as vazões médias para o período analisado, e, ainda, que um poluente específico pode atingir um corpo hídrico de forma difusa, ou seja, distribuído ao longo de sua extensão, ou de forma pontual, caso a água residuária seja despejada diretamente nesse corpo hídrico.

Diante disso, foram exploradas algumas variáveis de maior significância para a análise da carga poluidora na área de estudo, revelando que o volume de água residuária da suinocultura pode estar contribuindo com cargas de sólidos em suspensão, fósforo total, nitrato e nitrito, sendo identificadas sub-bacias específicas da área de estudo com maiores valores, porém, nenhum destes acima dos limites estabelecidos pela legislação em vigor. O mesmo ocorreu com as variáveis sólidos dissolvidos totais e zinco total.

De modo geral, a metodologia de avaliação adotada na citada pesquisa é de grande utilidade para os atores envolvidos na gestão pública dos recursos hídricos em bacias hidrográficas no que tange à qualidade da água.

## MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO

Segundo informações da Agência Nacional de Águas (2017), entre 1960 e 2015, a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares, e pode expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 milhões de hectares. A média

de crescimento estimado corresponde a pouco mais de 200 mil hectares ao ano, enquanto o potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada no Brasil é de 11,2 milhões de hectares. O potencial de expansão apontado acentua a necessidade de um esforço crescente de planejamento e gestão, a fim de evitar ou minimizar conflitos pelo uso da água, em especial nas bacias hidrográficas que já têm indicadores de criticidade quantitativa.

A intensa atividade ligada à produção em larga escala (sequeiro e irrigado) e o conhecimento da distribuição temporal e espacial da disponibilidade hídrica são essenciais para obter informação do dossel vegetativo, bem como para auxiliar tanto no planejamento do cultivo, como na utilização do recurso hídrico. Atualmente, um dos grandes desafios do sistema de gestão da água está no:

Desenvolvimento de práticas de gestão pautadas pela promoção da eficiência no uso da água, garantia do uso sustentável da água e necessidade de promover responsabilização face à disponibilidade hídrica. (RIBEIRO, 2014).

Dentre as ferramentas utilizadas para a aplicação eficiente no uso da água na agricultura (agrometeorologia), destaca-se o modelo computacional AquaCrop, que necessita de menor número de variáveis meteorológicas, o que facilita as medidas, e sua utilização (STEDUTO et al., 2009). A Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) foi que desenvolveu o AquaCrop, um software de simulação

agrícola considerado simples, abrangente e preciso. O modelo foi gerado a partir de estudos e simplificações das relações que regem os processos e fluxos de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera. Similarmente a outros modelos, o AquaCrop tem uma estrutura que vai além do contínuo solo-planta-atmosfera, consistindo em quatro componentes: atmosfera, cultura, solo e manejo (PIEKARSKI et al., 2016).

Como um exemplo de que a modelagem computacional é usada de forma eficiente e aplicada, nas mudanças climáticas, cita-se a pesquisa realizada por Campos Castillo (2016), que utilizou o modelo AquaCrop Versão 4.0. Campos Castilho (2016) calibrou satisfatoriamente o modelo para a simulação do rendimento de grãos de soja na Bacia do Rio Potiribu. Para todas as projeções climáticas assumidas, os resultados das simulações com o modelo AquaCrop Versão 4.0 indicaram que o rendimento médio de grãos de soja para o período 2046/2047-2055/2056 aumentará em comparação com a média histórica 2003/2004-2012/2013 (Gráfico 2). Esse autor encontrou incrementos previstos na faixa de 0,759 a 1,429 kg/ha.

Em se tratando do número médio de dias de precipitação e de eventos de irrigação durante o ciclo da cultura da soja, para as duas projeções do modelo CNRM-CM3, houve redução da demanda de água para irrigação que se devem à melhor distribuição temporal da precipitação durante o ciclo da cultura, a qual gerou menos ocasiões em que se superou a depleção máxima admitida da água facilmente disponível, e em consequência um menor número médio de eventos de irrigação (Tabela 1).

Outro estudo desenvolvido com o AquaCrop foi o realizado por Minuzziil e Lopes (2015), com cenários climáticos futuros em curto e médio prazos projetados pelo cenário RCP4.5 do IPCC, o qual projetou a diminuição, a duração do ciclo da primeira safra do milho e a sinalizou como cultura que não sofrerá com estresse hídrico no Centro-Oeste do Brasil. Além disso esses autores concluíram que a pro-

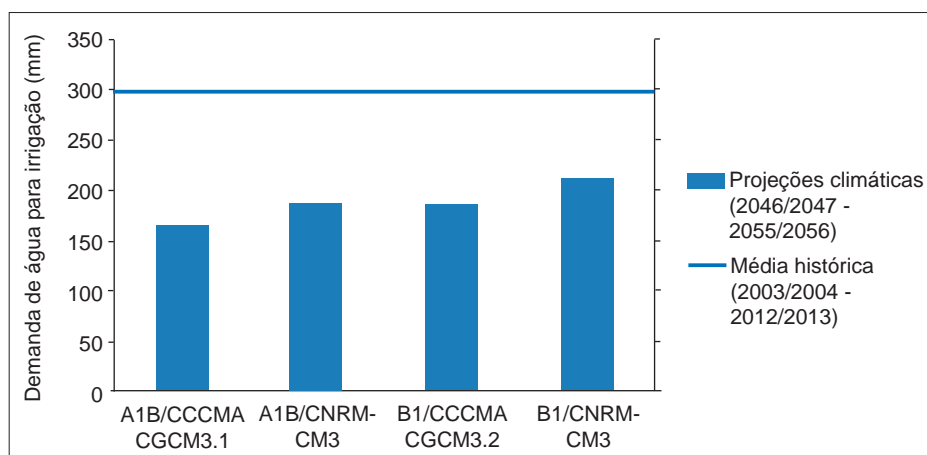


Gráfico 2 - Demanda de água para irrigação média da cultura da soja

Fonte: Campos Castillo (2016).

Nota: Calculada para o histórico 2003/2004 - 2012/2013 e para quatro projeções climáticas do período 2046/2047 - 2055/2056, com base em dois modelos de circulação global (CCCMA CGCM3.1 e CNRM-CM3) para os cenários de emissões A1B e B1.

Tabela 1 - Número médio de dias de precipitação e de eventos de irrigação durante o ciclo da cultura da soja

Variáveis médias	Histórico 2003/2004 - 2012/2013	Período 2046/2047 - 2055/2056 (modelo CNRM - CM3)	
		Cenário A1B	Cenário B1
Precipitação (dias)	49	87	82
Eventos de irrigação (dias)	69	45	47

Fonte: Campos Castillo (2016).

Nota: Histórico 2003/2004 - 2012/2013 e para duas projeções climáticas do período 2046/2047 - 2055/2056, com base no modelo de circulação global CNRM-CM3 para os cenários de emissões A1B e B1

atividade e o requerimento de irrigação líquida do milho safrinha tendem a diminuir, quanto maior for a redução na duração do ciclo da cultura.

A versatilidade do AquaCrop pode ser medida também na estimativa da pegada hídrica. Silva (2018b), usando o modelo AquaCrop concluiu que a pegada hídrica da soja futura decresce, especialmente a componente verde, pelo aumento menos acentuado da evapotranspiração, resultando em maior rendimento final. A pegada verde diminui ao longo dos anos, a pegada azul aumenta na mesma proporção e a pegada cinza apresenta comportamento praticamente contínuo. Os resultados deste estudo podem ser usados para quantificar a produtividade futura da

soja, a demanda de água e sua utilização, bem como para obter informações úteis para a gestão dos recursos hídricos na região de estudo. Assim, utilizar modelo agrometeorológico computacional pode ser uma eficiente ferramenta de gestão para estimativa de cenários futuros, considerando o uso da água para a agricultura.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, o mundo todo deve buscar, cada vez mais, novas ideias sobre como se preparar para a escassez previsível de recursos de água doce, à medida que a mudança climática avança. A crescente demanda por água e as limitadas possibilidades de incrementar sua oferta impõem novas práticas e ferramentas de gestão que

promovam a eficiência do uso da água na distribuição, no consumo, no processo produtivo, e incentivem a racionalização do seu uso. Apesar do grande número de propostas para o enfrentamento dos problemas associados às mudanças climáticas, as ações no âmbito da sociedade e, principalmente, no âmbito político não têm avançado como desejado.

No estado de Minas Gerais o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), por meio do Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (Simge), fornece informações sobre previsão do tempo, previsão de enchentes e situação climática no Estado, que auxiliam nas atividades de preservação ambiental, socioeconômicas e de proteção da população, com destaque para os fenômenos adversos, como enchentes, secas e temporais. Não obstante, com a ação conjunta de alguns setores, a saber: Assessoria de Programas, Projetos e Pesquisa em Recursos Hídricos (ASPRH); Diretoria de Gestão e Apoio ao Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (DGAS); Gerência de Apoio aos Comitês de Bacias Hidrográficas e Articulação à Gestão Participativa (GECBH), bem como os Núcleos de Assessoramento aos Comitês de Bacias Hidrográficas (NACBH), com a utilização de suas gerências, podem criar ferramentas para:

- integrar os estudos locais dos órgãos de pesquisa e universidade, criando um produto específico, com essas informações, para cada bacia do Estado;
- incrementar os resultados das informações das mudanças climáticas aos cenários de expansão da irrigação no futuro Plano Diretor de Agricultura Irrigada;
- quantificar a produtividade futura das culturas, a demanda de água e sua utilização, bem como obter informações úteis para a gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais.

A água é vida, e a gestão da água é essencial para que o mundo alcance um



desenvolvimento sustentável. Este desafio é ainda mais premente, à medida que o mundo enfrenta o aumento dos custos de alimentos e de energia e a crise econômica global, todas por causa das mudanças climáticas globais.

É importante aprender com os erros do passado e aproveitar para planejar um futuro melhor, considerando a água sempre como um bem estratégico para o País.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017. 85p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguaAgriculturaIrrigada.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050 – the 2012 revision**: global perspective studies team. Rome: FAO, 2012. 147p. (FAO. ESA Working Paper, 12-03). Esta publicação é um re-make dos capítulos 1, 2, 3 e 4 da FAO. World agriculture: towards 20130/2050. Rome, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- CAMPOS CASTILLO, A. **Efeito das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação e o rendimento de grãos da cultura da soja na Bacia do Rio Potiribu, Rio Grande do Sul**. 2016. 79p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/147062/000998836.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v.64, n.1, p.109-118, out. 2007.
- CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL 2017: relatório pleno. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2017. 169p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjunturas-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- FIELD, C.B. et al. (Ed.). **Climate change 2014 - impacts, adaptation, and vulnerability**: part A: global and sectoral aspects. Cambridge: University of Cambridge, 2014. 1131p. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-PartA_FINAL.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2018.
- Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- GLANTZ, M.H. **Water security in a changing climate**. Geneve: World Meteorological Organization, 2018. (WMO. Bulletin, v. 67, n.1). Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/water-security-changing-climate>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- IPCC. **Sumário para os tomadores de decisão do Quinto Relatório de Avaliação (2014)**: Grupo de Trabalho II do IPCC, Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade – WGII AR5. São Paulo: Iniciativa Verde, 2015. 46p. Tradução de: Magno Castelo Branco e Karla Sessin-Dilascio. Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Relatorio\\_IPCC\\_portugues\\_2015.pdf](http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Relatorio_IPCC_portugues_2015.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2018.
- KONCAGUL, E. et al. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018**: soluções baseadas na natureza para a gestão da água – fatos e dados. [Paris]: UNESCO, 2018. 11p. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261579por.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. Water footprint benchmarks for crop production: a first global assessment. **Ecological Indicators**, v.46, p.214-223, Nov. 2014.
- MINUZZI, R.B.; LOPES, F.Z. Desempenho agrônomo do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Agriambi**: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Campina Grande, v.19, n.8, p.734-740, ago. 2015.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio - Minas Gerais 2017 a 2027**: projeções de longo prazo. 3.ed. Belo Horizonte, [2017]. Disponível em: <[http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq\\_Relatorios/Publicacoes/projecoes\\_2017\\_a\\_2027.pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Publicacoes/projecoes_2017_a_2027.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2018.
- PALHARES, J.C.P.; MORELLI, M.; COSTA JUNIOR, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. **Agricultural Systems**, v.155, p.126-135, July 2017.
- PIEKARSKI, K.R. et al. Simulação da produtividade da soja em três tipos de solo com o modelo AQUACROP. In: CONVIBRA ONLINE CONFERENCE AGRONOMY, 4., 2016, São Paulo. **Annals...** São Paulo: CONVIBRA, 2016. p.189-198. Disponível em: <<http://www.convibra.com.br/book2016/agro/vol4/mobile/index.html#p=6>>. Acesso em: 24 set. 2018.
- RIBEIRO, C.S. **Pegada hídrica e água virtual**: estudo de caso da manga no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil. 2014. 79f. Dissertação (Graduação em Economia) – Faculdade de Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/17381/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Carolina%20Silva%20Ribeiro.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- ROCHA, J.L.S. **Mapeamento por SIG e Randon Forest do impacto dos resíduos da suinocultura na qualidade das águas da Bacia do Rio Piranga-MG**. 2016. 140p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10406/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- SILVA, L.M.R. **Ureia de liberação controlada, sombreamento e pegada hídrica na cafeicultura**. 2018a. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SILVA, R.A. e. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba**. 2018b. 114p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2018.
- STEDUTO, P. et al. AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: I - concepts and underlying principles. **Agro-nomy Journal**, v.101, n.3, p.426-437, 2009.
- UNESCO. World Water Assessment Programme. **Water for people, water for life**: The United Nations World Water Development Report – executive summary. Paris, 2003. 34p. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129556>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- WHO. **Climate change and human health**. Geneva, [2006]. Disponível em: <<http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/en/>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- WOLF, E. et al. **Climate updates**: progress since the Fifth Assessment Report. London: The Royal Society, 2017. 34p. Disponível em: <<https://royalsociety.org/~media/policy/Publications/2017/27-11-2017-Climate-change-updates-report.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2018.



# Certificação de bacias hidrográficas: produção e segurança ambiental

Paulo Pereira Martins Junior<sup>1</sup>

Resumo - Certificação da Qualidade da Produção é um método inovador, quando se trata de bacias hidrográficas. Faz parte da Metodologia Geral de Ordenamento Territorial, em que se sugere a substituição dos métodos do Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental e do Plano Diretor de Recursos Hídricos, com nova visão das Abordagens Inter e Transdisciplinares, com produtos de razoável complexidade, mas amigáveis, envolvendo ecologia, energia, economia e gestão e normas para padronização.

Palavras-chave: Ordenamento territorial. Certificações sistêmicas. Solo. Circulação hídrica. Bioma. Erodibilidade. Degradação.

## Watershed certification: production and environmental safety

Abstract - Certification of Production Quality is an innovative method, especially in the case of river basins, but it is part of the General Methodology of Territorial Planning, which suggests the substitution of Environmental Impact Studies/Report and Water Management Plans methods with a new view of Inter and Trans-disciplinary Approaches, with products of reasonable complexity, but friendly, involving ecology, energy, economy and management and standards for normalization.

Keywords: Land use planning. Systemic certifications. Soils. Water circulation. Biomes. Erodibility. Degradation.

### INTRODUÇÃO

O tema Certificação da Qualidade da Produção geoambiental e econômica de bacias hidrográficas e propriedades rurais foi desenvolvido nos anos de 2011 e 2012, no decurso de um projeto que se tratava de gestão do conhecimento (MARTINS JUNIOR et al., 2012). A certificação da produção apresentou-se como questão dentro do tema da gestão. Neste caso, a produção foi o foco de interesse, um tanto distinto da norma ISO 14.040, em virtude de esta tratar-se da produção industrial, e não ter preocupação com as fontes das matérias-primas e das bacias hidrográficas, em particular.

De modo coincidente, em Minas Gerais desenvolveram-se o Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) (MINAS GERAIS, 2016) e a produção de Indicadores de Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental

em Agroecossistemas (FERREIRA et al., 2012). Ambos, posteriormente legislados, Decreto Estadual nº 46.650, de 19/11/2014 (MINAS GERAIS, 2014), sobre o ZAP, e Decreto nº 46.113, de 19/11/2012 (MINAS GERAIS, 2012), sobre os Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA), assuntos totalmente correlatos à certificação de bacia. Este tema é um tanto estranho aos membros da comunidade das Engenharias e Ciências da Natureza. Fica claro que o ZAP e a Certificação da Qualidade da Produção de muitos modos complementam-se. Neste sentido, entende-se que se deva despendar esforços de unificação e ampliação desses métodos com o intuito de chegar à normatização formal de acordo com a própria linha normativa da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Este artigo é uma apresentação sucinta do processo de certificação desenvolvido.

### QUESTÕES OBSERVADAS

É reconhecido que estudos ambientais como Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRH) não levam facilmente os gestores à tomada de decisão. Faltam ainda normas bem fundamentadas para avaliar os resultados das gestões pública e privada para o espaço territorial na forma de arranjos em consenso sobre os usos da terra, os cuidados com os biomas, bem como com a circulação hídrica, e não somente com a quantidade e a qualidade da água.

Outros problemas são as práticas das abordagens disciplinar e pluridisciplinar e ausência formal das abordagens interdisciplinar e transdisciplinar necessárias para tratar com a complexidade dos fenômenos naturais, sociais e econômicos.

<sup>1</sup>Geólogo, Dr.Sc.T., Prof. Associado IV UFOP - Escola de Minas - Depto. Geologia, Ouro Preto, MG, maertyn@gmail.com



Outra questão foi a própria condição de relativo isolamento conceitual entre várias ciências, gerando dificuldade nos reconhecidos relatórios integrados, meros documentos somatórios de relatórios das várias ciências.

## OBJETIVOS DAS CERTIFICAÇÕES

São objetivos das certificações:

- a) tratar com a complexidade própria das bacias hidrográficas que devem ser certificadas ante os sucessos e insucessos nas formas de uso, de investigação, normatizações legais existentes, de monitoração de impactos, de processos de mitigação e dos acordos sociais entre os atores diversos presentes nas bacias;
- b) padronizar documentos básicos da investigação em outros tipos de documentos que permitam retratar, de maneira mais consistente possível, em qual estado uma bacia hidrográfica se encontra nos âmbitos dos vários usos praticados ao longo do tempo histórico;
- c) tratar da questão temporal que perpassa a qualidade, pelo fato de o território historicamente ser ocupado ao longo dos séculos e constatar os efeitos da degradação ambiental, distintamente dos processos de degradação mais recentes iniciados ou já manifestados.

## METODOLOGIA DAS CERTIFICAÇÕES DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Efetivamente, trata-se de complexo conjunto metodológico entre várias ciências e engenharias com métodos próprios de gestão. Implica formar uma visão complexa, mas simplificada, para descrever e tomar decisões do ponto de vista das boas práticas, das ações de conservação de modo integrado com a produção de origem rural, seja para alimentação, energia, vias, conurbações, uso de insumos, conservação de solos, substrato da circulação hídrica,

manutenção efetiva da vida do bioma, harmonia entre a ocupação humana e as necessidades da vida animal e vegetal, em um quadro de produção de economia física e de economia circular, ambas conservacionistas (CIRIDD, 2015).

Foram identificados sistemas-alvo para desenvolver rigorosas observações e estabelecer formas de identificação que permitam certificar as bacias hidrográficas.

O fator metodológico central do processo de certificação está no fato de que todas as atividades humanas não devam levar quaisquer partes dos sistemas naturais à irreversibilidade. Entenda-se que o limiar entre reversibilidade e irreversibilidade não é tema de simples trato, mas os procedimentos de certificação podem parametrizar esses limites ou, melhor ainda, delimitar o estado de segurança, isto é a condição distante de limites de irreversibilidade.

Os macrossistemas naturais são os solos, o bioma como totalidade, a circulação hídrica como substrato, a vegetação e os animais. A água em si é bem tratada na legislação e com boa administração pode, em princípio, garantir a disponibilidade hídrica, e com saneamento básico a boa qualidade hídrica. Na Figura 1, mostre-se o sentido da economia circular como conceito e práticas de manutenção da segurança ambiental e econômica, fato para a atualidade e para o futuro.

A certificação da qualidade geoambiental e econômica é um conceito inovador, que envolve vários campos do conhecimento, tanto intrinsecamente quanto nas aplicações para bacias hidrográficas, propriedades rurais e todo tipo de produção. É também extensível às áreas urbanas com acréscimos específicos e próprios para as questões ambientais e de qualidade na vida urbana. O foco deste artigo é primordialmente voltado para as questões rurais em seus mais amplos espectros de situações.

As certificações propostas permitem o reconhecimento da qualidade em toda a cadeia produtiva de massa, energia e informação existentes nos mais diversos produtos rurais agrícolas, florestais, pasto-

ris, que hoje perfazem, aproximadamente, 30% do PIB do Brasil, com a possibilidade de aumentar, em muito, ante a demanda mundial por alimentos. Frisa-se que, até o momento, não existem sistemas de certificação com tais focos.

Entende-se como ambientes e processos rurais as indústrias rurais, a produção de energia hidrelétrica, termoelétrica, solar termal, fotovoltaica, geotermal, a produção de biomassa para alimentos e para produção de energia, a produção de energia eólica, o uso da terra, a conservação da circulação hídrica, a preservação e conservação dos biomas e dos ecossistemas e da vida animal silvestre, as obras de engenharia como autoestradas, estradas vicinais não asfaltadas, hidrovias, ferrovias, aeroportos, a silvicultura, a produção da agricultura familiar, a conservação dos cursos d'água, toda a logística, a conurbação e agricultura intensiva. As florestas e a produção derivada destas, para nutracêuticos, fármacos e cosméticos, merecem especial atenção pelas amplas implicações de possibilidades de industrialização florestal.

Quanto às questões dos processos da geodinâmica superficial e à influência antropogênica operantes nas bacias hidrográficas citam-se (MARTINS JUNIOR et al., 2012):

- a) evapotranspiração;
- b) produção/manutenção de umidade relativa (UR);
- c) infiltração em solos e aquíferos;
- d) escoamento superficial total;
- e) escoamento superficial imediato pós-chuvas;
- f) retenção em aquíferos;
- g) trocas dos aquíferos com os cursos d'água;
- h) escoamento superficial, embora com valores médios anuais mantidos, mas com descontrolado por incremento excessivo na estação chuvosa;
- i) perda universal de solos;
- j) condições de conservação das zonas de recarga dos aquíferos;

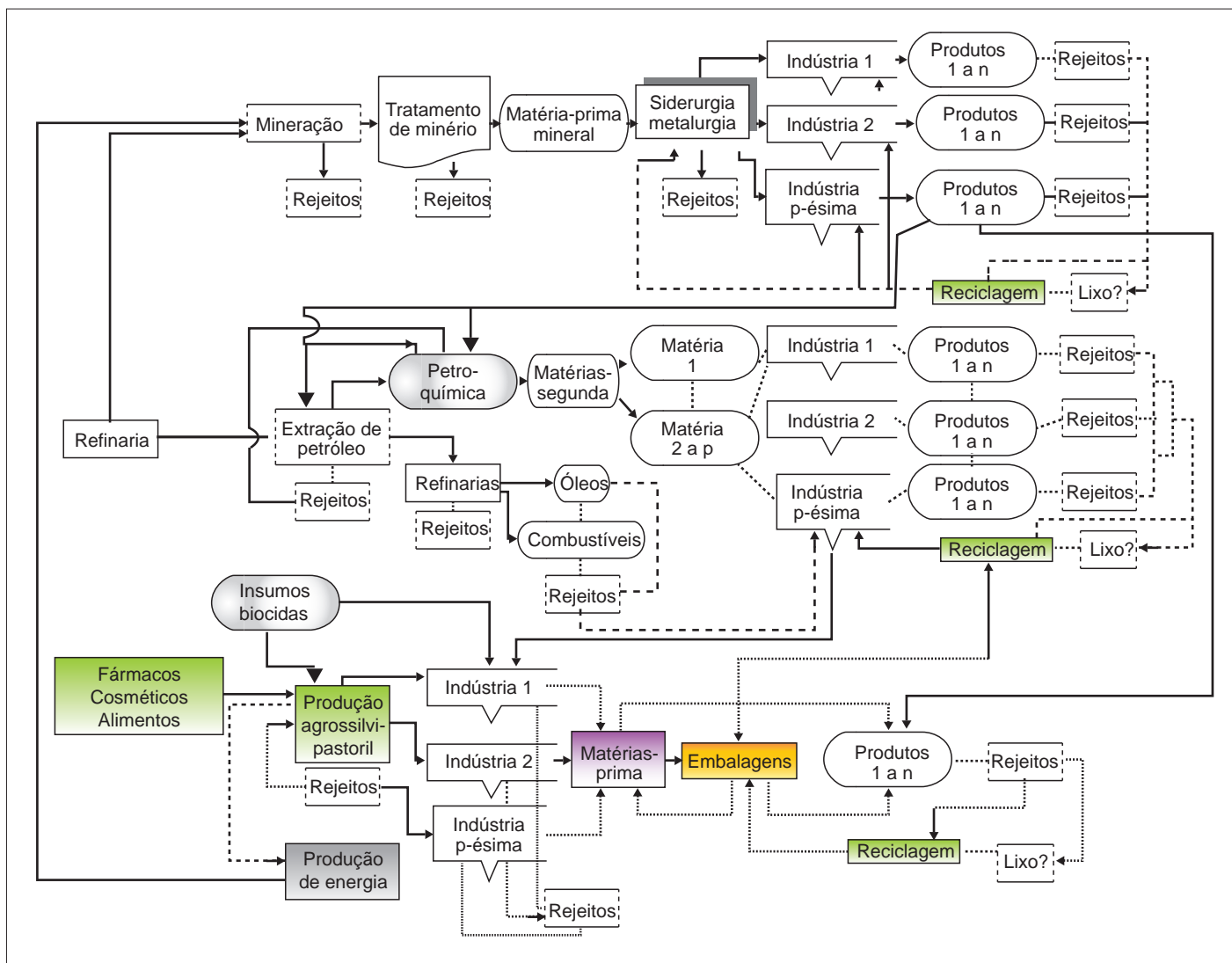


Figura 1 - Ciclo completo em economia física e circular representado em três macroatividades produtivas – mineração, petróleo, produção agrícola, incluindo plantas nativas para fármacos, cosméticos, alimentos e outras produções

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Processos de interferências, desde as fontes de matérias-primas para os produtos, afetam diretamente as bacias hidrográficas; a mineração e o petróleo, por características próprias, não fazem parte direta da circularidade econômica (não renováveis), mas alguns dos seus derivados sim.

- k) todo tipo de erosão;
- l) colmatção de barragens, lagos e pântanos;
- m) trocas eólicas;
- n) trocas por glaciares;
- o) desertificação;
- p) salinização de solos e/ou de fundos de lagos ressecados;
- q) trocas de gases com a atmosfera;
- r) produção de folhido (serapilheira);
- s) a produtividade primária, e em re-

ferência a outros aspectos, que não sejam necessariamente ligados ao clima, têm-se ainda:

- a vida animal e a cadeia trófica total,
- o aumento ou a diminuição da área total vegetada, ambos podem ser afetados pelo clima e seus agentes.

Quanto aos processos de degradação selecionaram-se apenas 25 básicos. Estes podem atuar também em sinergia, mas não são indicados neste texto os processos sinérgicos de repercussão em relação aos

25 processos básicos (MARTINS JUNIOR et al., 2012):

- a) encrostamento/enrijecimento localizado de solos;
- b) desmatamento controlado feito segundo critérios de uso da terra;
- c) desmatamento realizado de forma descontrolada e não sistêmica;
- d) desmatamento extensivo e aniquilador de ecossistemas;
- e) ruptura do processo de infiltração da água pluvial nas zonas de recarga dos aquíferos subterrâneos;

- f) comprometimento de solos e sedimentos com metais pesados e substâncias tóxicas;
- g) diminuição das vazões específicas de curto, médio e longo prazo;
- h) processos erosivos em vários estádios de adiantamento;
- i) áreas extensivas com encrostamento de solos;
- j) poluição pontual e difusa proveniente de áreas urbanas e de indústrias nos cursos d'água;
- k) poluição difusa das atividades agropastoris;
- l) enrijecimento de solos com pisoteio de gado sem ser necessariamente correspondente ao encrostamento, fato que ocorre nos caminhos de pisoteio do gado;
- m) exploração indevida de Veredas, no bioma Cerrado, como de quaisquer corpos d'água em outros biomas;
- n) represamento de Veredas pelas rodovias;
- o) ressecamento definitivo de áreas de inundação permanentes e áreas de inundação periódicas;
- p) produção de descontinuidade floral ao longo do bioma com remanescentes de matas isoladas;
- q) construção inadequada de barramentos de quaisquer tipos;
- r) queimadas de origem antrópica;
- s) impedimento dos processos reprodutivos das espécies de animais existentes no bioma;
- t) poluição pontual a difusa proveniente de indústrias rurais;
- u) indução à erosão propiciada pela construção de vias;
- v) poluição derivada das vias, seja pelos próprios transportes, seja pelas atividades comerciais e residenciais ao longo das vias;
- w) agricultura intensiva fora de planejamento do desenho de uso optimal do território;

- x) área de inundação por projetos de barragens;
- y) poluição difusa e pontual de corpos d'água.

### Epistemologia necessária

A base epistemológica utilizada fundamenta-se em três conceitos indispensáveis, a saber: princípios, critérios e indicadores. Estes três conceitos permitem definir o quadro da certificação como processo de apreensão da realidade da interação antrópica com a natureza.

Os princípios devem explicitar os seguintes aspectos:

- a) organização dos conhecimentos sobre ambientes, produção, economia e energia de modo integrado;
- b) conhecimento que deve ter foco no aspecto territorial;
- c) sustentação do bioma, fator fundamental;
- d) hidrologia com foco exclusivo no aspecto dos meios de circulação hídrica e a efetiva gestão praticada como outro fator essencial de sobrevivência de tudo;
- e) vegetação natural preservada e conservada são dois aspectos críticos no processo de conservação da terra e do território como um todo;
- f) áreas passíveis de uso para agricultura, silvicultura, pastagens e outras obras de engenharia;
- g) relações de produção em função da água, solos, vegetação natural;
- h) inteligibilidade reconhecível da organização natural que não deve ser afetada em seus aspectos essenciais em todo o território.

Os critérios seguem os princípios como partes destes, elementos de cognição prática e de ações com forte viés de definição sobre o quê, para que e por que. Desse modo, critérios são diversos, mas sempre indicam o que deve ser feito para atingir a amplitude dos princípios. Ainda servem para organizar decisões e estipular

ações que permitam trazer, na prática, o que estava embutido nos aspectos gerais dos princípios. Não obstante os critérios serem diversos, guardam na maioria das vezes essas características citadas. Outro aspecto inerente aos critérios é o fato de que apontam para o que se deve entender como soluções.

Os indicadores distintamente devem apontar para a eficiência dos critérios ou para a eficácia destes, conforme for o nível de profundidade nos casos de caracterização de sucessos e insucessos, resultantes das ações. Deve-se ficar atento que tanto critérios quanto os indicadores também implicam em ações de estudos, diagnósticos e descrições no primeiro tempo. Já no segundo tempo, implicam em ações tanto no campo cognitivo, quanto no da gestão, nas intervenções sobre os ambientes e o território, bem como sobre a produção e as obras de engenharia.

### Fatores fundamentais para a certificação

O fator análise sistêmica é a base para manter uma visão integrada e de relações interativas ao longo do tempo, para sustentação dos processos naturais. Esses fatores devem ser entendidos, pelo modo da conservação e pelo retroalimentativo, quando da presença das atividades econômicas sob o seguinte postulado:

Não há solução ecológica sem solução econômica que a fundamente. (MARTINS JUNIOR, 2006).

Fica claro que aspectos irredutíveis dentro das bacias são os solos, a circulação hídrica, a vegetação natural, o relevo, a drenagem, os aquíferos subterrâneos, os ecossistemas vegetais e a vida animal. A certificação é, portanto, fundada na observação das interações humanas com todos esses fatores naturais, entendidas dentro do conceito de conservação. Para atender a este conceito, deve-se também buscar a averiguação do uso de boas práticas em todos os tipos de intervenções. Por derivação, as intervenções têm distintas boas práticas para solos, circulação hídrica,



vegetação natural e ecossistemas em geral. Assim, pode-se dizer que princípios, critérios e indicadores são ortogonais aos sistemas naturais, aos usos da terra e das boas práticas, assim reconhecíveis. Deve-se ter também atenção, pois, pelo processo colonial, a degradação continua em curso e, assim, deve fazer parte das certificações da bacia sob o conceito de lidar com, em temas como erosão, tendência à erosão, secas, perda de fontes, reconhecidos para os solos, a circulação, a destruição do relevo e comprometimento dos corpos d'água. Florestas, maciços florestais, interconexão floral sobre todo o território, em consideração com a legislação imperfeita, também em coerência e na mais estreita relação, ou não, com o reconhecimento das leis da natureza e as condições reinantes, perfazem o quadro de fundo do que se pode entender como realidade com a qual se lidar.

### Quadro geral dos sistemas certificáveis

Este quadro estabeleceu-se sobre os sistemas que não estão bem recobertos por leis, incluindo a questão florestal que, apesar da legislação, ainda é um processo em curso na devastação do País. Os temas da geodinâmica externa ou superficial do Planeta, tanto quanto os temas de degradação, citados na lista dos 25 temas básicos, são alvos críticos no processo de aferição da qualidade, para notificação com índices de sustentabilidade e, por fim, para as certificações estabelecidas para as condições dos sistemas naturais e dos sistemas produtivos.

Tipos de certificações propostos para a condição de estabilidade geodinâmica superficial e ambiental de bacias hidrográficas e índices de sustentabilidade e certificação da qualidade:

- de conservação de um ou mais biomas;
- de conservação com foco específico no substrato total da circulação hídrica;
- da gestão do uso da terra;
- do lidar com a erodibilidade;

- do lidar com processos erosivos;
- do lidar com a degradação erosional consumada.

### ANTECEDENTES AOS PROCEDIMENTOS DE CERTIFICAÇÃO

Antecedem aos processos de certificação os seguintes estudos: zoneamentos ecológicos (ZE-L); zoneamentos econômicos (ZE-N) e zoneamentos ecológicos-econômicos (ZEE)<sub>objetivos</sub> por objetivos, que caracterizem três sistemas cognitivos fundamentais para obter resultados perfeitos para a interpretação do meio ambiente, a saber: caracterizações textuais, quantitativas e cartográficas de estado de preservação (eP); do estado de conservação (eC) e do estado de degradação (eD) da bacia hidrográfica e das propriedades rurais (MARTINS JUNIOR et al., 2006). Entende-se que tais estados eP, eC, eD podem ser antevistos nos zoneamentos, mas a epistemologia desses zoneamentos não é direcionada para descrever esses três estados em si mesmos. Dessa forma, as descrições diagnósticas e geobiodinâmicas desses estados devem ser traduzidas em todos os seus aspectos de interatividade entre o substrato geológico, a biosfera na região, o clima regional e microclima e a produção econômica, ou pelo menos as implicações econômicas sobre os aspectos da macroeconomia e microeconomia voltadas para esses temas. É imperativo que se exerçam a integração dos pensamentos ecológico e econômico, e que jamais se aceite tratar a ecologia como uma externalidade no campo da economia.

O total de conjuntos de princípios, critérios e indicadores desenvolvidos apontam, de fato, para as noções sistêmicas na natureza e nas atividades produtivas.

### O que se certifica

O ponto de partida é A Ideia de Certificação, mas dedica-se atenção aos zoneamentos ambientais, conforme propostos com os vários métodos entendidos

como necessários, para antecipar as três descrições de preservação, conservação e degradação como condições sistêmicas e dinâmicas, para se atingir maior ordem possível ou mesmo quando a caminho de um estágio de desordem ainda reversível ou irreversível. Os zoneamentos ou classificação territorial de sub-bacias hidrográficas servem de base para interpretar as relações usadas nas classificações com as intenções de usos da terra, de controle hídrico, das formas de conservação ambiental e de mitigações possíveis.

Um segundo aspecto é de desenvolver sistema de Certificação da Qualidade das Bacias Hidrográficas, Propriedades Rurais e Produção, uma visão introdutória, ampla e integradora sobre a articulação dos processos de zoneamentos ecológicos, econômicos e ecológicos-econômicos em relação ao Desenho de Uso Optimal do Território (DUOT), com cenários DUOT-C<sub>i (i=1, n)</sub>. O DUOT retroalimenta toda a Lógica do processo de certificar, desde os primeiros passos.

Os ZE-L, ZE-N e ZEE<sub>objetivos</sub> apresentam-se de modo mais profundo como os antecedentes metodológicos, por meio dos métodos de zoneamentos, de modo a deixar claro os procedimentos e o que deles se pode esperar.

Assim, chega-se aos Três Estados das Bacias Hidrográficas (preservação, conservação e degradação). Devem-se discutir esses três estados, caracterizando-os qualitativa e quantitativamente, bem como com cartografia adequada para uma efetiva visão do estado atual de condições reinantes na bacia. São os documentos que fecham a apresentação das bacias como estão, e permitem partir para a etapa seguinte.

São fundamentais as Leis, Regras, Indicadores de Sustentabilidade, Certificações Mandatórias e Certificações por Adesão, como aspectos legais, normativos, condições de obrigatoriedade desejáveis, para se certificarem as bacias com o olhar voltado para o sucesso ou insucesso dos órgãos de gestão e, por outro lado, a certificação por adesão voluntária das propriedades rurais.



Devem-se ainda indicar as necessidades de disseminar a adoção de tais procedimentos pelo mundo, no âmbito da Organização Mundial do Comércio (OMC), como modo referencial para se manter a qualidade da vida no Planeta. É importante para o embasamento jurídico da certificação ambiental de bacias hidrográficas. Nesse marco, argumenta-se que a gestão ambiental, para efetivamente se contrapor aos amplos processos de dilapidação de recursos naturais e de quebra do equilíbrio da circulação hídrica, requer uma transformação do modo de pensar e dos instrumentos jurídicos atualmente existentes dedicados a essa gestão. Essa transformação requer, entre outras medidas, a ênfase em territorialidades naturais (ecossistemas, bacia hidrográficas, biomas, etc.), assim como em relação às reconhecíveis leis naturais que determinam a organização sistêmica, como categorias centrais de análise, fatores esses não apreendidos minimamente nas legislações vigentes.

Propõe-se que a legislação e a prática de Direito Ambiental devam-se orientar por estados ideais de preservação e de recuperação dos geossistemas que, segundo a ordem natural, devem ocupar determinado território, tendo em vista a sustentabilidade desses. Esses estados ideais de preservação e de recuperação são materializáveis nos DUOT entendidos como mapas normativos (metas), para intervenções na realidade socioambiental. Reforça-se, assim, o papel positivo do Direito, como ciência transformadora do espaço e de práticas que intervêm nele.

Nessa linha, tomando-se como exemplo o Direito Brasileiro, promove-se uma releitura de alguns dos objetivos, princípios e instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31/8/1981 (BRASIL, 1981). As reflexões dão continuidade à linha interdisciplinar de investigações, a qual envolve o ramo das Geociências Agrárias e Ambientais, com o Direito Ambiental, desenvolvida por Martins Junior, desde 1986, e Alvarenga, L.J., em mestrado, com apoio em

contribuições filosófico-epistemológicas, como as de Herman Dooyeweerd, Edgar Morin, Boaventura de Sousa Santos e José Augusto Pádua.

Ao analisar as Trocas de Energia, Massa e Informação em Sistemas Abertos, como os aspectos geodinâmicos fundamentais, introduz-se uma visão sistêmica para se discutir essas trocas em sistemas naturais, entre sistemas naturais, entre estes e sistemas produtivos. Tais discussões preparam as ideias sobre as formas de legitimidade ontológica de intervenção humana nos sistemas naturais sob quais condições *sine qua non*. Trata-se de um capítulo que apresenta uma visão ampla, todavia sem discutir modelos de como aplicar quantitativa e qualitativamente tais conceitos.

Assim, chegou-se ao Desenho de Uso Optimal de Bacias Hidrográficas e Propriedades Rurais, para os quais foram indicados estudos de caso sobre uma bacia de 3ª ordem, dentro do Vale do Paracatu, afluente de 2ª ordem do Rio São Francisco, como exemplo (Fig. 2 e 3).

Todo o sentido desse denominado Desenho é discutido para se apreender suas relações e significados como Instrumentos de Planejamento e de Negociações, no âmbito dos Comitês de Bacias e entre as entidades privadas e órgãos públicos de administração, ou seja, os parceiros sociais.

Assim chegou-se à necessidade de introduzir noções fundamentais sobre Certificação da Qualidade de Conservação de um ou mais Biomas.

Essas certificações passam pela descrição dos três estados e pelas noções de continuidade floral dos biomas sobre todo o território da bacia, conservação de florestas de galerias, interconectividade floral, trajetos de migração animal e preservação de espécies, não somente em áreas de parques, mas em todas as áreas devidamente conservadas. Um sistema lógico de uso da terra é apresentado como possível parte de um instrumento de auxílio à decisão e ao julgamento das situações existentes (Fig. 4).

As formas para se estabelecer índices de sustentabilidade, tanto quanto a certificação, são apontadas a partir das definições dos princípios, critérios e indicadores ambientais do estado de conservação do bioma e de seus ecossistemas.

Outra questão fundamental é o substrato da circulação hídrica com a proposição de Certificação da qualidade das condições de conservação da circulação hídrica (Fig. 5A, 5B e 5C).

A circulação hídrica é indicada em seus grandes traços de modo a ter claro que, quando se fala em circulação, não se trata de quantidade estocástica da água, mas das próprias condições do substrato em relação à circulação. Este assunto, é considerado extremamente crítico no País e está em intensivo processo de degradação contínua.

Cabe ressaltar, como se considerou no projeto de Certificação, o destaque especial à circulação hídrica, ou seja:

- entende-se por circulação hídrica em uma macrovisão, o conjunto de trajetos que a água faz entre a atmosfera, a hidrosfera, a biosfera, a litosfera e o retorno à atmosfera;
- entende-se por circulação hídrica, em uma visão sobre as bacias hidrográficas, o conjunto de trajetos que a água faz em relação estreita com os aquíferos subterrâneos e os superficiais, as plantas, os solos em um balanço hídrico que acompanha o clima regional.

As formas de estabelecer índices de sustentabilidade, tanto quanto a certificação, são apontadas a partir das definições dos princípios, critérios e indicadores ambientais das condições superficiais e subterrâneas da circulação nos vários subsistemas naturais.

Outro aspecto a considerar é a Certificação da Qualidade da Gestão do Uso da Terra, como amplo foco sobre as sub-bacias e campos agrícolas, pastagens e silvicultura.

São indicados 15 conjuntos de boas práticas. Chama-se a atenção para as certificações de campos agrícolas desenvol-



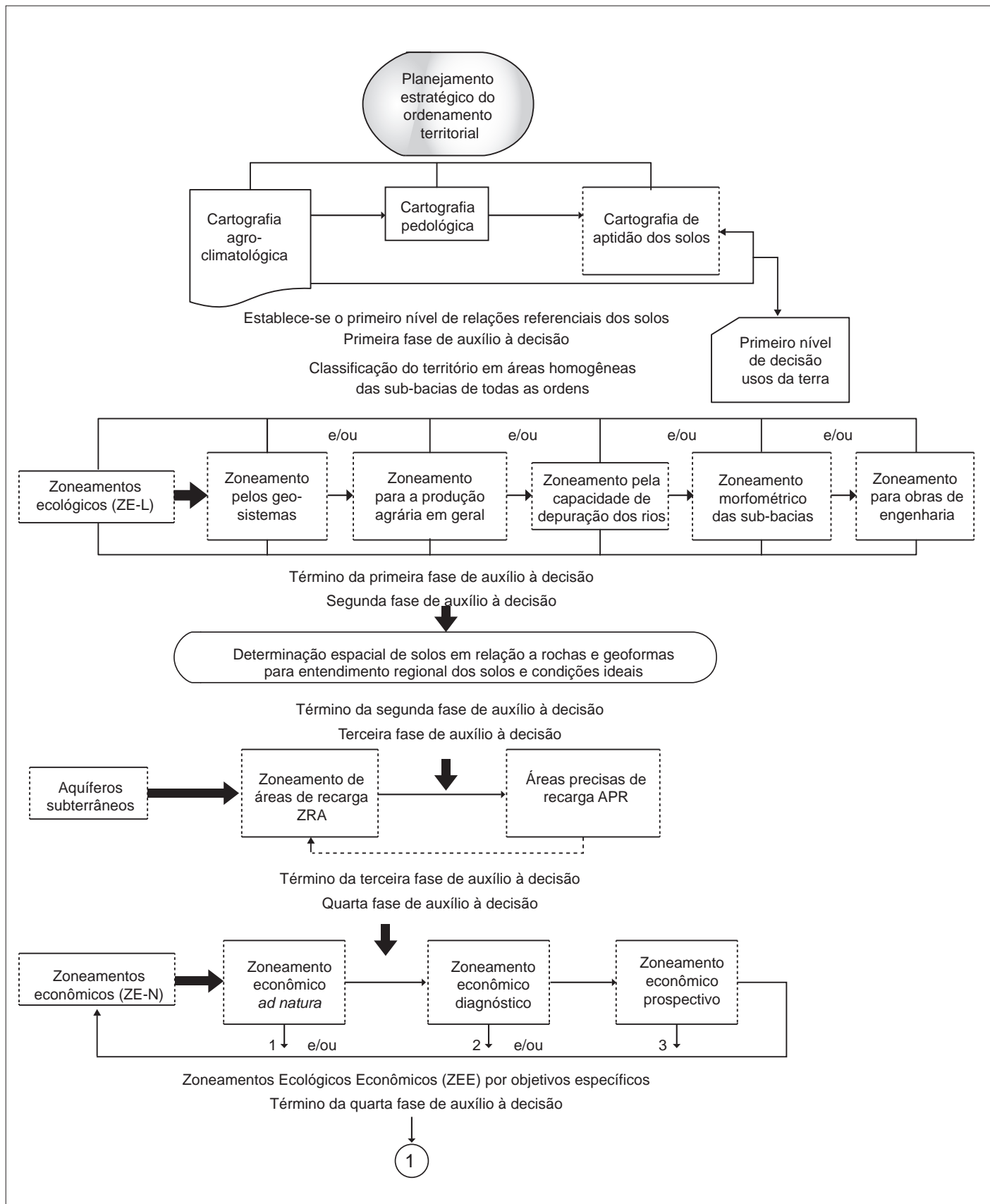


Figura 2 - Das cartografias básicas aos zoneamentos

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: ZRA - Zoneamento de Áreas de Recarga; APR - Área Precisa de Recarga.



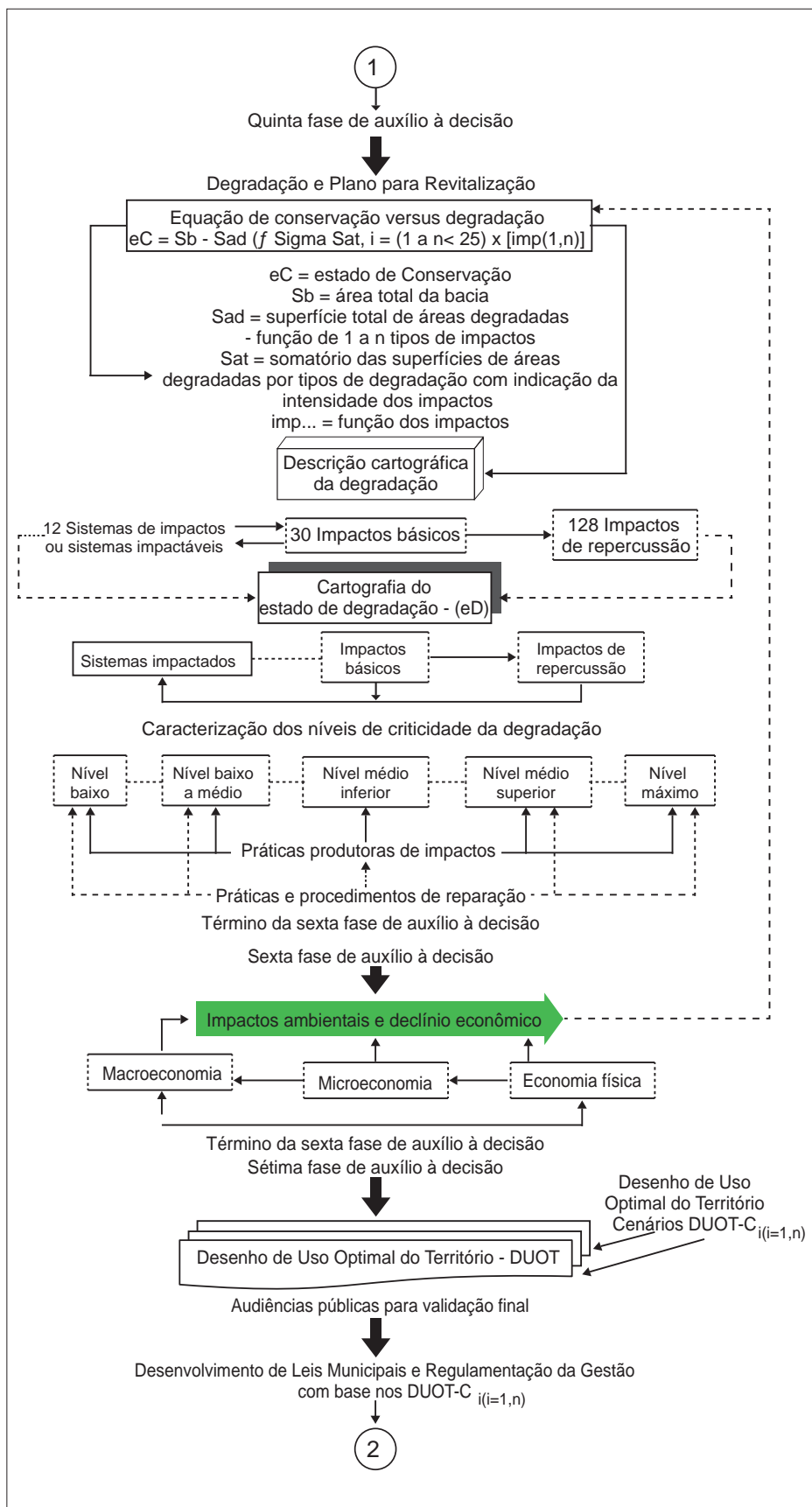


Figura 3 - Da análise do estado de degradação [eD] e plano de revitalização aos desenhos de uso optimal com cenários

Fonte: Elaboração do autor.

vidas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), sob o conceito de ferramentas de gestão ambiental e avaliação da sustentabilidade de atividades rurais em São Paulo (Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna). Estes dois enfoques são articuláveis, enquanto em um deles, o aspecto bacia e grandes projetos, é visto de forma mais ampla no contexto bacia; no outro, os aspectos ligados diretamente ao campo agrícola são mais detalhados. Todavia, pelas noções de boas práticas de conservação de solos, ambos os métodos se cruzam e se articulam integralmente.

As formas de estabelecer índices de sustentabilidade, tanto quanto a certificação, são apontadas a partir das definições dos princípios, critérios e indicadores ambientais do estado de conservação dos solos agrícolas. Quando sob impacto de obras de engenharia, são articuláveis a partir dos mesmos procedimentos de boas práticas aplicáveis a todos esses tipos de intervenções agrônomicas e de obras em geral.

Três temas recebem atenção especial, tais como a Certificação da Qualidade do Lidar com a Erodibilidade, a Certificação da Qualidade do Lidar com os Processos Erosivos em Curso e a Certificação da Qualidade do Lidar com as Áreas Degradadas, nos quais tratam-se, com especial foco, as questões ligadas à erosão e à perda de solos, temas cruciais para a sobrevivência dos biomas e da humanidade.

A perda de solos tem-se tornado fato crítico para garantir a segurança alimentar. Nesse sentido, entende-se que existem três condições com as quais se lidar no processo de notificação de índices de sustentabilidade e das certificações da qualidade, a saber:

- lidar com a erodibilidade, sobretudo em áreas não erodidas, como fator antecedente à possibilidade de induzir a erosão;
- lidar com os próprios processos erosivos, com esperança de interrompê-los;
- lidar com a degradação consumada, que exige trato especial nas diversas condições.



Paulo Pereira Martins Junior

Figura 4 - Ponto de vista em direção à cidade de Guarda-Mór

Nota: Visão em altitude dos campos agrícolas, com conservação de florestas ripárias, especialmente visível no centro da foto e com pivôs centrais



Fotos: Paulo Pereira Martins Junior

Figura 5 - No bioma Cerrado três situações de Veredas

Nota: 5A - No centro da foto, a Vereda está degradada também com espécie aquática invasiva; 5B - A Vereda está situada entre dois campos agrícolas em um pequeno vale linear (Vereda parcialmente barrada e inundada Lat.46° 58'13,8" Long.17° 29'39,2"); 5C - Uma parcial avenida de Buritis (*Palmaceae, Mauritia speciosa*), mas já em ambiente seco.

Também deve-se dar destaque à questão prévia da erodibilidade, como Certificação da Qualidade do Lidar com a Erodibilidade. Tal requisito deve-se ao fato de que a visão integrada da bacia em escala regional e sub-regional, até a escala de 1:50.000, permite antever as situações existentes visíveis nas escalas de detalhe tal como 1:10.000 aplicáveis a propriedades rurais. Esse enfoque é voltado para o Lidar – como forma de prevenir.

É intimamente correlacionável a Certificação da Qualidade do Lidar com a Erodibilidade, com a Certificação da Qualidade do Lidar com Processos Erosivos. Tais situações são articuladas a partir da existência desses processos em curso, em função da ação antrópica e da ação natural em face da suscetibilidade dos solos, rochas e saibros.

A geodinâmica externa e o perfil de maturidade de bacias (Gráfico 1), bem como a influência da pluviosidade, são articulados no processo de interação antrópica. Nesse enfoque, é de particular atenção a possibilidade de fazer parar o processo degradacional (Fig. 6).

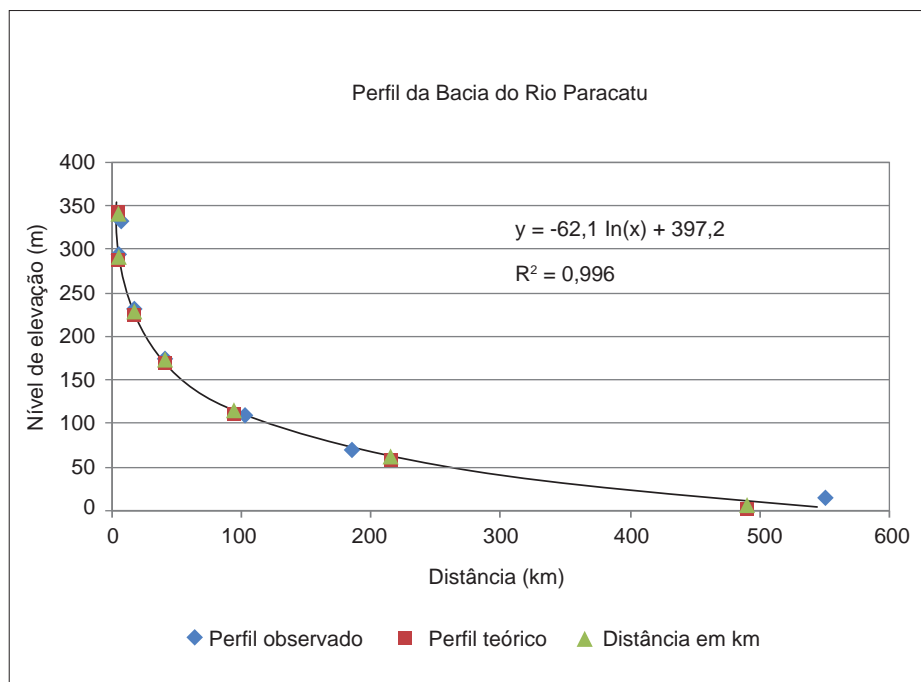


Gráfico 1 - Perfil longitudinal da Bacia do Paracatu observado com as Leis de Horton, para cálculo do perfil atual de maturidade do relevo da bacia

Fonte: Martins Júnior (2006).

Nota: Ambas as curvas, teórica e medida, quando são coincidentes, indicam alta maturidade ou alta entropia do relevo, isto é, com perda de geopotenciais. Com discordância das duas curvas podem-se evidenciar áreas na bacia, onde a possibilidade erosional seja muito grande e onde, eventualmente, podem ser encontrados bons potenciais hidrelétricos.



Figura 6 - Construção de estádio esportivo em alto de encosta – Juiz de Fora, MG

Nota: 6A - Terraplenagem interrompida na infraestrutura; 6B - Mesma área abandonada, por motivos diversos, e após pouco tempo iniciou-se o processo erosivo induzido de enorme dimensão.

Assim como perspectivas, devem-se resumir todos os aspectos essenciais dessa proposição, de suas formas de aplicação, de suas relações com o sucesso da gestão ambiental, das vantagens desta como parte do processo de conservação a ser introduzido para o ciclo completo das ações humanas, desde o território até as produções e os produtos. No caso dos produtos, as certificações já existentes podem satisfazer, mas no caso dos territórios, dos sistemas naturais e da produção são inexistentes, salvo uma exceção da Embrapa.

Não fará nunca sentido certificar produtos e não cadeia total da produção. De nada adianta certificar produtos para os quais os ambientes de produção estejam em processo de degradação, pelo próprio fato da produção. Tais fatos são facilmente reconhecíveis e disseminados nos biomas do Brasil.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo são apresentados diversos processos que devem ser realizados para se chegar às condições mínimas necessárias para certificar bacias hidrográficas sobre os vários aspectos dos sistemas certificáveis. Tais exigências são necessárias para se poder lidar com as complexas questões territoriais em nível de conhecimentos cartográficos, o estado de preservação eP, de conservação eC e de degradação eD. Não somente este amplo diagnóstico, mas também quadros de responsabilidades,

que serão evidenciados tanto para com os órgãos públicos e as várias categorias de usuários privados, quanto para a responsabilidade pública mínima que a administração pública deverá ofertar à sociedade civil, e esta complemente todos esses esforços em nível das sub-bacias e das propriedades privadas situadas nestas sub-bacias. Por outro lado, as obras dos governos estaduais, das prefeituras e da União estarão também na mira no que diz respeito às adequadas condições de conservação do território. Ao final, apresentam-se as certificações, sendo que várias poderão emitir selos verdes a 100% de sucessos ou emitir notas intermediárias de progressão de investimentos nas adequações de usos da terra.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 set. 2981.

CIRIDD. **Economie circulaire**: du concept à la pratique. [Genebra, 2015]. Disponível em: <<https://www.economiecirculaire.org/economie-circulaire/h/du-concept-a-la-pratique.html#page1:local>>. Acesso em: jul. 2018.

FERREIRA, J.M.L. et al. Indicadores de Sustentabilidade em Agrossistemas. **Informe Agropecuário**. Adequação socioeconômica e ambiental de propriedades rurais, Belo

Horizonte, v.33, n.271, p.12-25, nov./dez. 2012.

MARTINS JUNIOR, P.P. (Coord.). **Conservação de recursos hídricos no âmbito da gestão ambiental e agrícola de bacia hidrográfica**. Belo Horizonte: CETEC; Ouro Preto: UFOP, 2006. 2t. Projeto CRHA. Relatório final.

MARTINS JUNIOR, P.P. et al. **Sistemas de arquitetura de conhecimentos e de auxílio à decisão na gestão geo-ambiental e econômica de bacias hidrográficas e propriedades rurais**. Belo Horizonte: CETEC; Ouro Preto: UFOP, 2012. 2v.

MINAS GERAIS. Decreto nº 46.113, de 19 de novembro de 2012. Aprova a metodologia mineira para aferição do desempenho socioeconômico e ambiental de propriedades rurais. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 20 dez. 2012. Diário do Executivo, p.2.

MINAS GERAIS. Decreto nº 46.650, de 19 de novembro de 2014. Aprova a metodologia mineira de caracterização socioeconômica e ambiental de sub-bacias hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental Produtivo - ZAP - e dá outras providências. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 20 nov. 2014. Diário do Executivo, p.2.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas**. 2.ed. Belo Horizonte: SEMAD; SEAPA, 2016. 81p. Disponível em: <[http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Metodologia\\_ZAP\\_-\\_2\\_edicao.pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Metodologia_ZAP_-_2_edicao.pdf)>. Acesso em: jul. 2018.

# MUDAS DE OLIVEIRA

Garantia de procedência, mudas padronizadas, qualidade comprovada e variedade identificada



**Pedidos e informações:**  
**Campo Experimental de Maria da Fé**  
**CEP: 37517-000 - Maria da Fé - MG**  
**e-mail: [cmf@epamig.br](mailto:cmf@epamig.br)**  
**Tel: (35) 3662-1227**



# Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta na avaliação da saúde de ecossistemas aquáticos no Brasil

Carlos Augusto Pereira da Silva<sup>1</sup>, Anielle Cristina Fonseca Pereira<sup>2</sup>, Flávio Pimenta de Figueiredo<sup>3</sup>, Flávio Gonçalves Oliveira<sup>4</sup>

**Resumo** - Os sistemas aquáticos sofreram fortes pressões humanas, por causa da intervenção não planejada a que foram submetidos, o que ocasionou graves problemas, sobretudo em relação à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos. A água é fundamental para a manutenção da biodiversidade. Sua disponibilidade influencia a economia e sua boa qualidade proporciona saúde, o que torna o ser humano dependente desse recurso natural. Na gestão da água é fundamental que sua qualidade seja satisfatória, compreendendo as características físicas, químicas e biológicas. Os bioindicadores associados aos métodos tradicionais de análises têm sido eficazes para o diagnóstico ambiental dos recursos hídricos, além de permitir inferir sobre a magnitude dos impactos ambientais em um sistema aquático, caracterizando-o de forma mais completa para subsidiar o manejo adequado. Macroinvertebrados são utilizados como indicadores biológicos, para avaliar a saúde de ecossistemas aquáticos, e também como índices bióticos (Biological Monitoring Working Party), para analisar a qualidade da água, por meio da presença/ausência de grupos de organismos sensíveis ou intolerantes, tolerantes e resistentes às diferentes condições ambientais.

**Palavras-chave:** Qualidade da água. Qualidade ambiental. Bioindicadores. Índice BMWP.

## Benthic macroinvertebrates as tool in the evaluation of aquatic ecosystem health in Brazil

**Abstract** - The aquatic systems suffered strong human pressures, due to the unplanned intervention to which they were subjected, causing serious problems, mainly in relation to the quantity and quality of water resources. Water is fundamental for the maintenance of biodiversity, its availability influences the economy, and its good quality provides health, which makes the human being dependent on this natural resource. In the management of this resource, it is essential that its quality is satisfactory, including the physical, chemical and biological characteristics. The bioindicators associated with traditional methods of analysis have been shown to be efficient for the environmental diagnosis of water resources, besides allowing to infer about the magnitude of the environmental impacts in an aquatic system, characterizing it in a more complete way to subsidize the management. This way, we have gathered studies using macroinvertebrates as biological indicators to evaluate the health of aquatic ecosystems, as well as their use in biotic indexes, such as the Biological Monitoring Working Party, in order to analyze water quality through presence/absence of groups of organisms that are sensitive or intolerant, tolerant, and resistant to different environmental conditions.

**Keywords:** Water quality. Environmental quality. Bioindicators. BMWP index.

### INTRODUÇÃO

Poluentes agrícolas, urbanos e industriais e a falta de planejamento do uso e da ocupação do solo são as principais causas

de deterioração dos recursos hídricos. Isto faz com que a qualidade da água seja alterada, contribuindo para sua poluição em níveis inaceitáveis (SOUZA; GASTALDINI, 2014). A biodiversidade depende

da água, a economia é influenciada pela sua disponibilidade e a saúde está diretamente ligada à sua qualidade. Em síntese, somos dependentes desse recurso natural (LUNARDI; RABAIOLLI, 2013). Dessa

<sup>1</sup>Eng. Ambiental, Prof. IFNMG - Campus Araçuaí, Araçuaí, MG, capsambiental@gmail.com

<sup>2</sup>Bióloga, M.Sc., Analista Laboratório MSD/Vallée, Montes Claros, MG, aniellecristina@gmail.com

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. Adj. UFMG - ICA, Montes Claros, MG, figueiredofp@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Prof./Pesq. UFMG - ICA, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com



forma, quando se fala em qualidade da água, é necessário compreender que esse termo não se refere a um estado de pureza da água, mas, simplesmente, às suas características químicas, físicas e biológicas, pois estas peculiaridades que estipulam suas diferentes finalidades (MERTEN; MINELLA, 2002).

No Brasil, tradicionalmente, o diagnóstico da saúde ambiental de um rio é realizado por meio de análises físico-químicas e microbiológicas da água. Contudo, estas metodologias retratam apenas a situação momentânea do ecossistema, não indicando a situação dos organismos aquáticos (RODRIGUES; MALAFAIA; CASTRO, 2010). Nesse sentido, o uso dos macroinvertebrados bentônicos, como bioindicadores ambientais, associados a métodos tradicionais de análises, vem mostrando eficiência para o diagnóstico ambiental dos recursos hídricos (PIMENTA et al., 2009).

Os bioindicadores são espécies cuja presença, diversidade e abundância são capazes de indicar a magnitude dos impactos ambientais em um ecossistema, o que permite uma caracterização mais completa, contribuindo, assim, para o manejo adequado dos recursos hídricos existentes (CALLISTO; GONÇALVES JUNIOR; MORENO, 2004).

Em relação à tolerância mediante adversidades ambientais, podem-se classificar os macroinvertebrados bentônicos em três grupos principais: organismos sensíveis ou intolerantes, tolerantes e resistentes. Tais características estão associadas à necessidade de Oxigênio Dissolvido (OD) na água, necessidade de diversidade de habitats e micro-habitats, hábitos alimentares e comportamentais (GOULART; CALLISTO, 2003).

Este artigo tem por objetivo reunir pesquisas realizadas com base em bioindicadores que apontam o estado de integridade ambiental e de poluição dos ecossistemas aquáticos. Pretende levantar, também, trabalhos que avaliaram a qualidade de água no Brasil com macroinvertebrados bentônicos, relacionados com o índice biótico Biological Monitoring Working Party (BMWP).

## MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A água é considerada poluída, quando suas características e qualidades são alteradas. O grande causador de sua poluição são resíduos gerados nas mais diversas atividades antrópicas (FERREIRA et al., 2015).

Diante disso, são utilizados alguns indicadores que verificam a qualidade das águas e determinam se esta pode ser utilizada ou necessita ser tratada. O Índice de Qualidade das Águas (IQA), principal indicador de qualidade, foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), dos Estados Unidos da América (EUA). O IQA é composto por nove parâmetros, com seus respectivos pesos fixados em função de sua importância para a conformação global da qualidade da água. Esses parâmetros são: OD, coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total.

A avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água. Assim, métodos convencionais a partir da avaliação de parâmetros físicos e químicos da água não são suficientes para inferir sobre a saúde do ecossistema aquático. Tais métodos são substituídos ou complementados pelos biológicos (CALLISTO; MORETTI; GOULART, 2001). Segundo Callisto, Gonçalves Junior e Moreno (2004) por meio desses métodos distingue-se a ocorrência de fenômenos naturais, como mudança de estação e períodos de chuva e de seca, e alterações de origem antropogênica, associadas a fontes de poluição pontuais ou difusas (Tabela 1).

Segundo Pimenta et al. (2016), conforme dados apresentados na Tabela 1, observou-se em todos os pontos do Cór-

rego Bandeirinha, a presença de táxons intolerantes. Nos pontos PB2 e PB8, foi encontrado o maior número, apontando que as condições ambientais são favoráveis às espécies sensíveis. Em todos os pontos, foram encontrados organismos tolerantes e resistentes, sendo a maior densidade de táxons nos pontos PB1 e PB2. No ponto PB8, próximo ao exutório do Córrego Bandeirinha, obteve-se a menor riqueza e diversidade de táxons. Nas amostragens dos macroinvertebrados bentônicos, os ambientes com melhor qualidade foram apontados pela presença da maioria dos grupos taxonômicos das Ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera.

## PROTOSCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DE RIOS E MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS NO BRASIL

O levantamento da diversidade de habitats aquáticos, a avaliação dos recursos tróficos disponíveis e a caracterização de macroinvertebrados bentônicos constituem importantes ferramentas para a proposição de estratégias de conservação e de entendimento do funcionamento dos ecossistemas aquáticos (CALLISTO; MORETTI; GOULART, 2001). Neste contexto, Callisto et al. (2002), nas atividades de ensino e pesquisa para avaliação da diversidade de habitats (MG-RJ), aplicaram um protocolo de avaliação rápida adaptado da Agência de Proteção Ambiental – Environmental Protection Agency (EPA) de Ohio, EUA (EPA, 1987 apud CALLISTO et al., 2002) (Fig.1), e também um protocolo adaptado de Hannaford, Barbour e Resh (1997 apud CALLISTO et al., 2002) (Fig. 2), os quais visam avaliar qualitativamente as condições de habitat e nível de conservação das condições naturais, que são pontuados ao longo de um gradiente de ótimo a pobre, mediante observações visuais. Estes protocolos são mais confiáveis porque a qualidade do habitat físico é essencial para o estabelecimento da fauna aquática, que,



Tabela 1 - Densidades dos táxons amostrados nos Córregos Bandeirinha (PB) e Josefa Gomes (PJ), classificados por seu grau de tolerância<sup>(1)</sup>

Bioindicadores	Córrego Bandeirinha											
	PB1		PB2		PB3		PB4		PB5		PB6	
Ciclo hidrológico	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
<b>Intolerante</b>												
Trichoptera	6	21	11	15	0	14	2	17	7	12	4	14
Plecoptera	2	5	0	0	2	1	0	0	0	0	1	4
Ephemeroptera	2	10	11	21	13	27	1	55	0	3	11	9
Somatória	10	36	22	36	15	42	3	72	7	15	16	27
<b>Tolerante</b>												
Coleoptera	2	12	1	9	3	0	1	10	2	7	9	15
Heteroptera	0	0	1	3	1	0	0	2	2	3	0	0
Odonata	1	5	1	3	1	4	1	4	0	0	0	0
Somatória	3	17	3	15	5	4	2	16	4	10	9	15
<b>Resistente</b>												
Diptera	18	35	15	14	1	12	6	13	1	7	9	9
Anellida	0	1	0	1	0	4	0	0	3	0	0	0
Mollusca	0	1	4	1	0	0	7	3	0	0	0	0
Somatória	18	37	19	16	1	16	13	16	1	14	9	9

Bioindicadores	Córrego Bandeirinha				Córrego Josefa Gomes							
	PB7		PB8		PJ1		PJ2		PJ3		PJ4	
Ciclo hidrológico	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
<b>Intolerante</b>												
Trichoptera	2	8	17	47	1	8	0	0	0	11	0	0
Plecoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	5	27	5	13	0	1	0	0	0	1	0	0
Somatória	7	35	22	60	1	9	0	0	0	12	0	0
<b>Tolerante</b>												
Coleoptera	2	0	5	7	0	3	0	0	0	0	0	8
Heteroptera	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3
Odonata	0	1	0	0	1	0	0	3	0	7	0	3
Somatória	2	1	5	7	1	3	1	3	0	8	0	14
<b>Resistente</b>												
Diptera	5	21	15	28	4	71	16	87	2	38	4	8
Anellida	0	5	0	0	0	23	8	35	2	17	4	1
Mollusca	0	1	0	1	0	5	1	8	0	3	2	3
Somatória	5	27	15	29	4	99	25	130	4	58	10	12

Fonte: Pimenta et al. (2016).

Nota: C = Período chuvoso; S = Período seco.

(1)Grau de tolerância conforme Callisto, Gonçalves e Moreno (2004).

frequentemente, tem exigências específicas de habitats que são independentes da qualidade da água.

Existem muitos indicadores biológicos para análise de qualidade de ecossistemas aquáticos, entretanto, os mais comumente utilizados são os macroinvertebrados

bentônicos, pela sensibilidade à poluição e às mudanças no habitat. As perturbações frequentemente ocasionadas nos ecossistemas aquáticos são verificadas segundo a quantidade e a diversidade de espécimes sensíveis ou não, que possibilitam analisar se em um sistema lótico estão presentes ou

ausentes alguns organismos, observando-se o equilíbrio entre as comunidades de indivíduos no ecossistema (BUSS; BAPTISTA; NESSIMIAN, 2003).

Neste sentido, a metodologia para coleta dos macroinvertebrados bentônicos, conforme Silveira, Queiroz e Boeira

Localização:			
Data da Coleta: ___/___/___		Hora da coleta: _____	
Tempo (situação do dia):		Modo de coleta (coletor):	
Tipo de ambiente: ( ) Córrego ( ) Rio		Temperatura da água:	
Coordenadas geográficas:			
Parâmetros	4 pontos	2 pontos	0 ponto
Tipo de ocupação das margens do curso d'água (principal atividade)	Vegetação Natural	Campo de pastagens/ agricultura/monocultura/ reflorestamento	Residencial/ comercial/industrial
Erosão próxima e/ou nas margens do rio assoreamento em seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
Alterações antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)	Alterações de origem industrial/ urbana (fábricas, siderúrgicas, canalização, reutilização do curso do rio)
Cobertura vegetal no leito	Parcial	Total	Ausente
Odor na água	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
Oleosidade da água	Ausente	Moderada	Abundante
Transparência da água	Transparente	Turva/cor de chá-forte	Opaca ou colorida
Odor do sedimento (fundo)	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
Oleosidade do fundo	Ausente	Moderado	Abundante
Tipo de fundo	Pedras/cascalho	Lama/areia	Cimento/canalizado

Figura 1 - Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Hábitats em trechos de bacias hidrográficas

Fonte: EPA (1987 apud CALLISTO, 2002).

(2004), deve ser feita segundo a classificação hierárquica dos sistemas lóticos, em razão das diferentes condições hidrológicas, presença de sedimentos no canal principal e a fauna relacionada. Diferentes tipos de coletores são utilizados, segundo o ambiente em estudo. No grupo de rios de 1ª a 3ª ordem, onde estariam incluídos as cabeceiras, as nascentes e os riachos, a coleta é indicada utilizando-se os amostradores do tipo *Surber* (Fig. 3A). Estas condições e o tipo de coletor utilizado, são semelhantes aos estudos desenvolvidos por Callisto, Moretti e Goulart (2001), Bagatini, Delariva e Higuti (2012), Rezende, Santos e Gonçalves Junior (2012), Pimenta et al. (2016), Chagas et al. (2017ab), os quais avaliaram a qualidade de água de riachos, utilizando este tipo de amostrador para a coleta de macroinvertebrados. Outro método para coleta de macroinvertebrados aquáticos em riachos

de cabeceira é a Rede D (Fig. 3B), que, segundo Santos et al. (2014), consiste na varredura feita pelo manipulador, nos locais de arraste escolhidos.

Um determinado agente poluidor ou um fator natural com potencial poluidor podem ser associados à presença de espécies bioindicadoras, como o *Oligochaeta* (minhocas d'água) – e de larvas vermelhas *Chironomus* (Diptera), que em alta densidade, apontam rios com elevados níveis de matéria orgânica (MO). Estes organismos são também um importante instrumento para avaliação da integridade ecológica de um rio (condição de saúde), quando se compara a qualidade de água e diversidade de organismos, as áreas impactadas e áreas de referência, com aspectos ainda naturais (CALLISTO; GONÇALVES JUNIOR; MORENO, 2004).

Na coleta de macroinvertebrados bentônicos para avaliação da qualidade

de água em riachos urbanos, Cordeiro et al. (2016) utilizaram um amostrador de rede em D. Os grupos taxonômicos identificados da comunidade bentônica, na avaliação da integridade ecológica de riachos na Bacia do Rio Corumbá, foram Diptera (*Chironomidae* e *Simuliidae*), Coleoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Tricoptera (*Hydropsychidae*), Odonata, *Oligochaeta*, Lepidoptera e Mollusca. Nos pontos da estação de tratamento de esgoto e a jusante, foi encontrada abundância das larvas de *Chironomus* (*Chironomidae*: Diptera), quando comparado aos pontos referência e montante, cuja riqueza foi menor. A alta densidade de larvas de *Chironomus* foi decorrente de lançamento de efluentes domésticos (CORDEIRO et al., 2016). A avaliação dos impactos ambientais oriundos dos lançamentos pontuais de esgotos domésticos e efluentes industriais tem nos bioindicadores grande



Parâmetros	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificados: pedaços de troncos submersos; cascalhos ou outros habitats estáveis.	30% a 50% de habitats diversificados: habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos.	10% a 30% de habitats diversificados: disponibilidade de habitats insuficientes; substratos frequentemente modificados.	Menos de 10% de habitats diversificados: ausência óbvia de habitats: substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidos: rápidos tão largos quanto o rio e com comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos podem estar ausentes: rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes; distâncias entre remansos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não frequentes; distâncias entre remansos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre remansos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água lisa ou com rápidos rasos, pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio > 25.
Tipos de substrato	Seixos abundantes (principalmente em nascentes de rios).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos.
Deposição de lama	Entre 0% e 25% do fundo coberto por lama (silte e argila).	Entre 25% e 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50% e 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos. Provavelmente a correnteza arrasta todo o material fino.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente aumento de cascalho, areia ou lama; 5% a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lamas nas margens entre 30% a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, margens assoreadas; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes, pela deposição de sedimentos.
Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes; evidência de modificação há mais de 20 anos.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40% a 80% do rio modificado.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40% a 80% do rio modificado.
Características do fluxo das águas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta.	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio; ou menos de 25% do substrato exposto.	Lâmina d'água entre 25% e 75% do canal do rio, e/ou maior parte dos substratos expostos nos rápidos.	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
Presença de Mata Ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas, mínima evidência de desflorestamento; todas as *plantas atingindo altura normal.	Entre 70% e 90% com vegetação ripária nativa; desflorestamento evidente, mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo a altura normal.	Entre 50% e 70% com vegetação ripária nativa desflorestamento óbvio, trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das plantas atingindo a altura normal.	Menos de 50% da vegetação ripária nativa; desflorestamento muito acentuado.
Estabilidade das margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequente.	Moderadamente instável; entre 30% e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão frequente; áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60% e 100% da margem.
Extensão da Mata Ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuárias, estradas, etc.).	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa	Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente, pela atividade antrópica.
Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito.	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídos no rio, substrato com perifiton.	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifiton abundantes e biofilme.	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos de macrófitas (aguapé).

\*plantas atingindo altura "normal" – alturas que dependem de qual bioma o riacho está inserido, ou seja, qual seria a estratificação vertical de uma floresta ripária nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e nos outros biomas.

Figura 2 - Protocolo de Avaliação Rápida da diversidade de habitats em trechos de bacias hidrográficas

Fonte: Hannaford, Barbour e Resh (1997 apud CALLISTO et al., 2002).



Figura 3 - Coletores

Fonte: (A) Silveira, Queiroz e Boeira (2004) e (B) LIMNOTECH (2012).

Nota: A - Tipo Suber; B - Rede em "D".

utilidade. Os efeitos ambientais sobre a qualidade da água e a saúde do ecossistema aquático são identificados pela amostragem das estações a montante, no local do lançamento, e a jusante do ponto de poluição (CALLISTO; GONÇALVES JUNIOR; MORENO, 2004).

Ao utilizar bioindicadores bentônicos para analisar a qualidade da água em córregos da área rural e urbana, Pimenta et al. (2016) constataram que, em quatro pontos distintos do Córrego Bandeirinha, a água apresentou boa qualidade, indicada pela presença do gênero *Anacronuria* (Plecoptera) e de Táxons mais sensíveis Lephthlebiidae. Ao utilizar macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade de água de rios no Sul do Brasil, Chagas et al. (2017b) aplicaram o protocolo proposto por Callisto et al. (2002) e os resultados demonstram que o grupo coletor-raspador apresenta maior quantidade em virtude das alterações no ambiente, da mesma forma que a abundância de raspadores está associada à maior qualidade. Nos trechos com correnteza e substrato rochoso dos Rios Leãozinho e Ligeirinho os grupos Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera foram mais representativos quanto à sua ocorrência.

### ESTUDOS DE CASO COM MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS E SEU USO NO ÍNDICE BIÓTICO

A habilidade de alguns organismos aquáticos em tolerar altas concentrações de poluentes nas águas dos rios despertou o interesse em pesquisas, utilizando-os para diagnóstico da qualidade da água. Desde o início do século 20, têm-se utilizado organismos aquáticos em avaliações de qualidade da água. Tais organismos são capazes de fornecer uma medida em longo prazo da concentração de poluentes, em contraste com a natureza instantânea de medidas de parâmetros físicos e químicos.

Existem muitos indicadores biológicos para qualidade de ecossistemas aquáticos, entretanto os mais comumente utilizados são os macroinvertebrados bentônicos, pela sensibilidade à poluição e às mudanças no habitat. Segundo Callisto, Moretti e Goulart (2001), os macroinvertebrados bentônicos diferem entre si, com relação à poluição orgânica, desde organismos típicos de ambientes limpos ou de boa qualidade de água, como ninfas de Plecoptera e larvas de Trichoptera – Insecta, organismos tolerantes como alguns Heteroptera e Odonata – Insecta, e

Amphipoda – Crustacea, até organismos resistentes como Chironomidae, Diptera – Insecta e Oligochaeta – Annelida (Quadro 1).

Locais poluídos geralmente possuem baixa diversidade de espécies e elevada abundância de organismos, sendo estes restritos a grupos mais tolerantes. Já locais com águas de boa qualidade tendem a apresentar elevada diversidade de organismos (CALLISTO; MORETTI; GOULART, 2001). Como as comunidades bentônicas necessitam de certo tempo e condições próprias para estabelecer suas populações, conseguem atuar como monitores contínuos das condições ecológicas do rio, respondendo rápido às alterações.

A tolerância ou o grau de sensibilidade a poluentes orgânicos podem ser avaliados pelo índice BMWP, que se caracteriza por ser qualitativo, considerando apenas a presença/ausência das famílias de macroinvertebrados bentônicos. As famílias relacionadas com o índice recebem *scores* (pontuação) de 1 a 10 (em que 1 representa organismos mais tolerantes, e 10, organismos mais sensíveis aos impactos). Assim, o nível de integridade e qualidade ambiental do local, é avaliado mediante o somatório dos valores obtidos no índice, após a identificação das famílias presentes

Quadro 1 - Grupos taxonômicos e gradientes de sensibilidade de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de água de boa e de má qualidade

Ordem do inseto	Gradiente de sensibilidade
Sensíveis ou intolerantes	
Plecoptera	Altamente sensíveis à poluição. Vivem em águas de ótima qualidade.
Ephemeroptera	Vivem em águas limpas e correntes com alta oxigenação.
Trichoptera	Vivem em águas correntes, limpas e bem oxigenadas. Constroem casas para se proteger.
Coleoptera	Algumas espécies desenvolvem seu ciclo de vida na água; algumas possuem apenas larvas e pupas aquáticas, e os adultos são aéreos. Intolerantes à poluição.
Resistentes ou tolerantes	
Diptera	Vivem em diferentes ambientes aquáticos. Algumas espécies são tolerantes à poluição orgânica (esgotos) e industrial, podendo viver em águas poluídas.
Oligochaeta	Vivem em qualquer tipo de água, sendo tolerantes à poluição. Esses macroinvertebrados são bem adaptados a sedimento lodoso com abundância de detritos de plantas e de animais.

Fonte: Callisto, Gonçalves Junior e Moreno (2004).

numa amostra, podendo também resultar em um gradiente de integridade ambiental, ao ser comparado com outros trechos (SILVEIRA, 2004).

Neste contexto, Junqueira e Campos (1998) adaptaram o índice biótico BMWP, para relacionar a ocorrência de organismos macroinvertebrados da comunidade bentônica, com as características físico-químicas da água da Bacia do Alto Rio das Velhas (MG), visando calcular o grau de tolerância à poluição. Em relação ao índice original, alguns valores foram alterados na adaptação dos *scores* para a fauna brasileira, além da introdução de algumas famílias que não ocorriam na Inglaterra (local de origem do BMWP). Um sistema de classificação da qualidade da água também foi proposto, com base no *score* total atingido pelo índice, como apresentado na Tabela 2.

A avaliação de dois rios para abastecimento público no município de Erechim, sul do Brasil, revelou boa qualidade da água, apesar de algumas amostras terem mostrado redução nessa qualidade. No

ponto 1, as águas do Rio Leãozinho foram classificadas como duvidosas, e nos pontos 2, 3 e 4 foram indicadas como boas. Nos trechos 1 e 4 do Rio Ligeirinho, a classificação foi considerada aceitável, e nos pontos 2 e 3 foram classificadas como boa. A riqueza do grupo Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) e DBO, ou seja, famílias sensíveis à poluição e água com baixos índices de ODs, foram apontadas significativamente pelo índice BMWP. Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos predisseram a abundância e a riqueza de macroinvertebrados (CHAGAS et al., 2017a).

A qualidade de trechos a montante e a jusante de um riacho de primeira ordem foi considerada excelente, pelos altos valores de riqueza e diversidade, associados aos índices BMWP. As características físicas, químicas e estruturais do córrego estudado relacionam-se com os atributos das comunidades bentônicas (BAGATINI; DELARIVA; HIGUTI, 2012). Nos trechos alto e médio da Bacia do Rio Pandeiros (norte de Minas Gerais, Brasil), pertencente à

Tabela 2 - Pontuações atribuídas às famílias no sistema de pontuação do Grupo de Monitoramento Biológico (BMWP) modificado para a parte alta da Bacia do Rio das Velhas

Família	Score
Siphonuridae Grypopterygidae Pyrilidae Odonthoceridae, Hydroscaphidae, Helicopsychidae	10
Leptophlebiidae Perlidae Hebridae Hydrobiosidae, Philopotamidae Calopterygidae Psephenidae Dixidae	8
Leptohyphidae, Veliidae Leptoceridae, Polycentropodidae	7
Glossosomatidae, Hydroptilidae Gyrinidae Coenagrionidae Ancyliidae	6
Naucoridae, Belostomatidae, Corixidae, Nepidae Hydropsychidae Gomphidae, Libelulidae Dytiscidae Corydalidae Dugesiidae Simuliidae	5
Baetidae Helmidae, Hydrophilidae Piscicolidae Athericidae, Empidoidea, Tabanidae	4
Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae Glossiphoniidae Ceratopogonidae, Tipulidae, Culicidae	3
Erpobdellidae Chironomidae, Psychodidae, Stratiomyidae, Syrphidae	2
Oligochaeta	1
Siphonuridae Grypopterygidae Pyrilidae Odonthoceridae, Hydroscaphidae, Helicopsychidae	10

Fonte: Junqueira e Campos (1998).

Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, os resultados de abundância e riqueza de macroinvertebrados foram significativos, indicando boa qualidade de água, conforme as métricas %EPT, índice BMWP-CETEC, Protocolo de Avaliação Rápida, e altos teores de OD na água (REZENDE; SANTOS; GONÇALVES JUNIOR, 2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os macroinvertebrados bentônicos mostraram-se eficientes na avaliação do estado de integridade ambiental de ecossistemas aquáticos. A avaliação da qualidade da água por bioindicadores associados ao índice biótico BMWP foi eficiente, apontado a presença de grupos indicadores das condições ambientais adversas dos ambientes estudados.

## REFERÊNCIAS

- BAGATINI, Y.M.; DELARIVA, R.L.; HIGUTI, J. Benthic macroinvertebrate community structure in a stream of the north-west region of Paraná State, Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v.12, n.1, p.307-317, Jan./Mar. 2012.
- BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; NESSIMIAN, J.L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.19, n.2, p.465-473, mar./abr. 2003.
- CALLISTO, M.; GONÇALVES JUNIOR, J.R.; MORENO, P. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. In: GOULART, E.M.A. **Navegando o rio das velhas das Minas aos Gerais**. Belo Horizonte: UFMG, 2004. v.1, p.1-12.
- CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.71-82, jan./mar. 2001.
- CALLISTO, M. et al. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v.14, n.1, p.91-98, 2002.
- CHAGAS, F.B. et al. Integrated analysis of water quality from two rivers used for public supply in southern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v.29, p.e14, 2017a.
- CHAGAS, F.B. et al. Utilização da estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade da água em rios no Sul do Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.12, n.3, p.416-425, maio/jun. 2017b.
- CORDEIRO, G.G. et al. Avaliação rápida da integridade ecológica em riachos urbanos na bacia do rio Corumbá no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.11, n.3, p.702-710, jul./set. 2016.
- FERREIRA, K.C.D.F. et al. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao Semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.2, p.277-286, abr./jun. 2015.
- GOULART, M.D.C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v.2, n.1, p.153-164, 2003.
- JUNQUEIRA, V.M.; CAMPOS, S.C.M. Adaptation of the "BMWP" method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v.10, n.2, p.125-135, 1998.
- LIMNOTECH. **Dragas**: amostradores de invertebrados bentônicos. São Carlos, [2012]. Disponível em: <<https://www.limonotec.com.br/itm/dragas-amostradores-de-invert-bentonicos.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- LUNARDI, J.; RABAIOLLI, J.A. Valorização e preservação dos recursos hídricos na busca pelo desenvolvimento rural sustentável. **Revista OKARA**: geografia em debate, João Pessoa, v.7 n.1, p.44-62, 2013.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.4, p.33-38, out./dez. 2002.
- PIMENTA, S.M.; PEÑA, A.P.; GOMES, P.S. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde – Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.21, n.3, p.393-412, dez. 2009.
- PIMENTA, S.M. et al. Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n.1, p.198-210, jan./mar. 2016.
- REZENDE, R. de S.; SANTOS, A.M. dos; GONÇALVES JUNIOR, J.F. Avaliação ambiental do rio Pandeiros utilizando macroinvertebrados como indicadores de qualidade da água. **Ecologia Austral**, Buenos Aires, v.22, n.3, p.159-169, dic. 2012.
- RODRIGUES, A.S. de L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. de T.A. A importância da avaliação do habitat no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos: uma revisão. **SaBios**: revista de saúde e biologia, Ouro Preto, v.5, n.1, p.26-42, jan./jul. 2010.
- SANTOS, M.R. dos et al. Análise comparativa de três métodos de coleta de macroinvertebrados aquáticos no córrego do Espriado – São Carlos/SP. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 6.; SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS, 3., 2014, Pouso Alegre. **Anais... Pouso Alegre: IFSULDEMINAS**, 2014. Disponível em: <<https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcpoa/jcpoa/paper/viewFile/607/607>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- SILVEIRA, M.P. **Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 68p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 36).
- SILVEIRA, M.P.; QUEIROZ, J.F. de; BOEIRA, R.C. **Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7p. (Embrapa meio Ambiente. Comunicado Técnico, 19).
- SOUZA, M.M. de; GASTALDINI, M. do C.C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.19, n.3, p.263-274, jul./set. 2014.

# Outorga coletiva de uso de água: o caso do Rio Japoré em Manga, MG

Flávio Gonçalves Oliveira<sup>1</sup>, Flávio Pimenta de Figueiredo<sup>2</sup>, Mônica Costa Azevedo<sup>3</sup>, Luana Barbosa Durães<sup>4</sup>,  
Gbison Ferreira de Almeida<sup>5</sup>

**Resumo** - A Bacia Hidrográfica do Rio Japoré, localizada no Norte de Minas Gerais e no médio São Francisco, foi considerada área de conflito, onde, a partir de decreto estadual, exige-se a elaboração de outorga coletiva. A outorga coletiva é um ato administrativo autorizativo a ser concedido a um número determinado de usuários, localizados em área de conflito, por escassez dos recursos hídricos. Determinaram-se as vazões pelos métodos do flutuador e também com o molinete em quatro diferentes pontos ao longo do Rio. As medições foram realizadas no final do período seco e no final do período chuvoso. Observou-se um satisfatório balanço hídrico planejado com um ajuste de uso, tal observação pode ser comprovada pela comparação entre a demanda de água acumulada e a vazão legalmente permitida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (50%  $Q_{7,10}$ ), em cada uma das seções consideradas.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica. Recursos hídricos. Gestão. Disponibilidade de água. Uso coletivo de água.

## Collective grant of water use: the case of the Japoré River in Manga, MG

**Abstract** - The hydrographic basin of the Japoré River located in the north of Minas Gerais and in the middle São Francisco was considered an area of conflict where from the state decree it is required the elaboration of collective concession. The collective concession is an authorizing administrative act to be granted to a specific number of users, located in a conflict area, due to the scarcity of water resources. It were determined the flows by the methods of the float and also with the windlass at four different points along the river. Measurements were made at the end of the dry period and at the end of the rainy season. A satisfactory planned water balance was observed with an adjustment of use, such observation can be proven by the comparison between the accumulated water demand and the flow legally allowed by Instituto Mineiro de Gestão das Águas (50%  $Q_{7,10}$ ) in each of the sections considered.

**Keywords:** Hydrographic Basin. Water resources. Management. Water availability. Collective use of water.

### INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos no Brasil são distribuídos desuniformemente em relação à quantidade de usuários das determinadas regiões hidrográficas. A Bacia Hidrográfica Amazônica comporta 73% dos recursos hídricos do País e habita 4% da população. A Região Sudeste, compreendida pelas Bacias Hidrográficas Costeira Sudeste e Paraná, é a

mais populosa, onde se encontram 47% da população, todavia conta com 8% dos recursos hídricos. Na Região Hidrográfica Costeira do Nordeste Oriental estão presentes 20% da população do País, onde concentram apenas 2% dos recursos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2002).

Além da distribuição desigual dos recursos hídricos no País, algumas regiões

também sofrem com déficit hídrico nas estações secas (outono e inverno), é o caso do Cerrado do Norte de Minas Gerais. No Cerrado, o clima predominante é o tropical sazonal de inverno seco. A precipitação concentra-se nos meses de primavera e verão (outubro a março), que são as estações chuvosas. Entre os meses de maio a setembro, os índices pluviométricos caem

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Prof./Pesq. UFMG - ICA, Montes Claros, MG, flaviogoliveira.ufmg@hotmail.com

<sup>2</sup>Eng. Agrícola, D.Sc., Prof. Adj. UFMG - ICA, Montes Claros, MG, figueiredofp@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Graduanda Engenharia Agrícola e Ambiental UFMG - ICA, Montes Claros, MG, monicazzevedo@hotmail.com

<sup>4</sup>Graduanda Engenharia Agrícola e Ambiental UFMG - ICA, Montes Claros, MG, luanabarbosaduraes97@hotmail.com

<sup>5</sup>Graduando Engenharia Agrícola e Ambiental UFMG - ICA, Montes Claros, MG, gbisonfa@hotmail.com



quanto à frequência e intensidade, resultando, assim, uma estação com pouca ou nenhuma chuva (MARCUSO; CARDOZO; FARIA, 2012).

O acelerado processo de degradação ambiental em bacias hidrográficas nas várias regiões do País fez com que surgissem diversas iniciativas, visando seu gerenciamento ambiental. Com a implantação da Gestão dos Recursos Hídricos no País, em que as bacias hidrográficas são consideradas unidades de gerenciamento, houve uma significativa necessidade de realizar um trabalho detalhado de coleta de dados e de pesquisas. É válido lembrar que cada bacia hidrográfica possui características próprias, problemas específicos, ocupações e usos singulares, o que dificulta uma generalização de metas e estratégias para seu gerenciamento e controle e, principalmente, a preservação dos seus mananciais (PIRES; SANTOS, 1995).

Segundo Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia hidrográfica são de grande importância para o comportamento hidrológico. Isso porque há uma estreita correspondência entre esse comportamento e os elementos físicos, que constituem a mais conveniente possibilidade de conhecer a variação, no espaço, dos elementos do regime hidrológico da área em estudo.

Para Mosca (2003), um dos mecanismos de controle utilizados para avaliar os impactos ambientais no setor florestal, relacionados com a manutenção da produção de água em quantidade e qualidade, tem sido a inserção da noção de monitoramento ambiental por meio da instrumentação de bacias hidrográficas.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1986). Portanto, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água

produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficial e sub-superficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico.

Quando são analisadas as atividades exercidas no ambiente rural, verifica-se que todas têm como objetivo o sustento e a melhoria da qualidade de vida do homem. Os ambientes urbanos e industriais apropriam-se e utilizam-se dos recursos naturais do ambiente rural, seja para alimentação, fornecimento de água, minérios, vestimentas, lazer, seja para reciclagem de materiais. Com isso, o ambiente rural tende a sofrer degradações relacionadas com essas atividades, que, a longo prazo, também serão afetadas. Tal fato decorre da atual abordagem de manejo dos recursos ambientais alocados na área rural, os quais se têm apoiado no conceito tradicional de propriedade privada, utilizados apenas para benefício de um dos indivíduos do grupo, satisfazendo as condições de mercado. Esta abordagem de utilização tem sido cada vez mais questionada nos meios científicos, como explica Pires e Santos (1995).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é imprescindível para sua boa gestão, e tem como objetivo permitir o controle quantitativo e qualitativo dos usos, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (SOUZA, 2012).

Já a outorga coletiva é um ato administrativo autorizativo a ser concedido a um número determinado de usuários, localizado em área de conflito, por escassez dos recursos hídricos. Assim, os procedimentos diferenciados para obtenção da outorga coletiva podem ser regulamentados de forma administrativa, independentemente de alterações na lei vigente – Lei Estadual nº 13.199, de 29/1/1999 (MINAS GERAIS, 1999). Contudo, para o gerenciamento dos recursos hídricos de forma mais efetiva e com resultados focados na melhoria da qualidade e da quantidade das águas de uma

bacia hidrográfica, é necessário analisar o empreendimento em sua totalidade, efetivando não só a outorga de direito de uso do recurso hídrico, mas também a gestão ambiental ativa dos projetos de desenvolvimento. Para isso, devem ser previstas no processo de licenciamento ambiental ferramentas de gestão capazes de garantir que as medidas mitigadoras e compensatórias previstas na fase de aprovação da viabilidade ambiental do projeto sejam efetivamente implementadas durante a implantação e operação do empreendimento.

## RIO JAPORÉ

O Rio Japoré situa-se na Bacia do Rio São Francisco, sendo englobado na unidade de gestão como SF9, localizado no Norte de Minas Gerais e no Médio São Francisco (Fig. 1). Já na Figura 2, apresentam-se os principais afluentes do Rio Japoré. A nascente situa-se no município de Miravânia e Cônego Marinho, e a foz, no município de Manga, na propriedade da Beirada. As lagoas marginais conhecidas como Lagoas da Beirada e da Malhadinha, que nada mais são que o Rio Japoré represado em função de um barramento, situam-se aproximadamente a 1.000 metros do Rio São Francisco. Essas lagoas assumem papel de marginais e contribuem com a proliferação de peixes do Velho Chico em épocas de inundações.

A área da bacia hidrográfica é dominada por terras planas do planalto do São Francisco, em sua maioria com altitudes que variam de 500 a 800 m. Esta unidade apresenta um clima quente semiúmido, com total de chuva anual que varia entre 900 e 1.250 mm e temperatura média anual de 21 °C a 24 °C.

A evapotranspiração anual potencial, nesta unidade, é da ordem de 1.650 a 1.800 mm, e a precipitação média anual é de 1.100 mm, com um balanço hídrico que apresenta um déficit anual que varia de 400 a 900 mm.

Esta região possui baixa densidade de estações fluviométricas e, ainda, dentre estas poucas, algumas já desativadas e outras com poucas informações históricas.



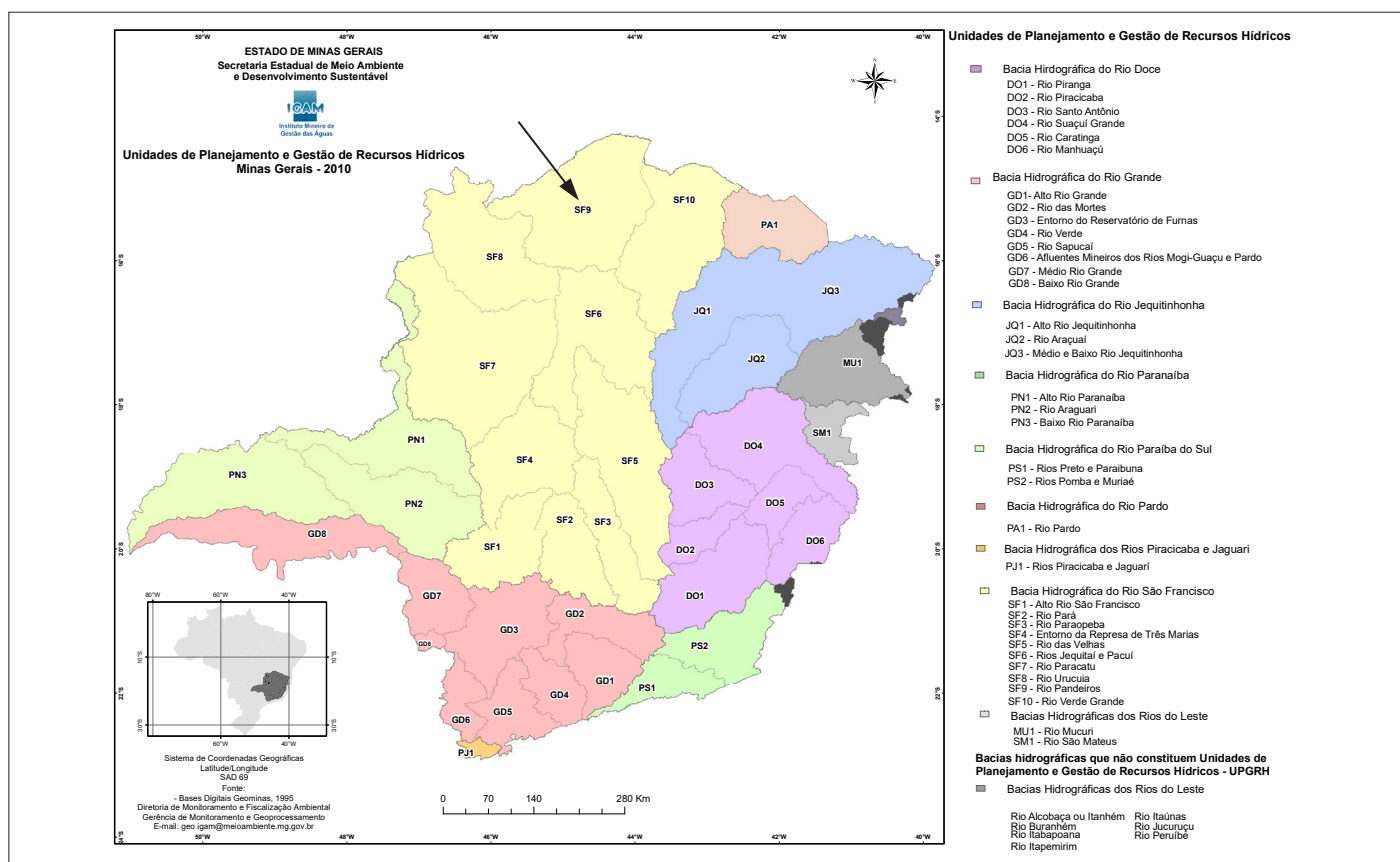


Figura 1- Localização das Unidades de Gestão e da Bacia Hidrográfica do Rio Japoré

Fonte: Igam (2010).

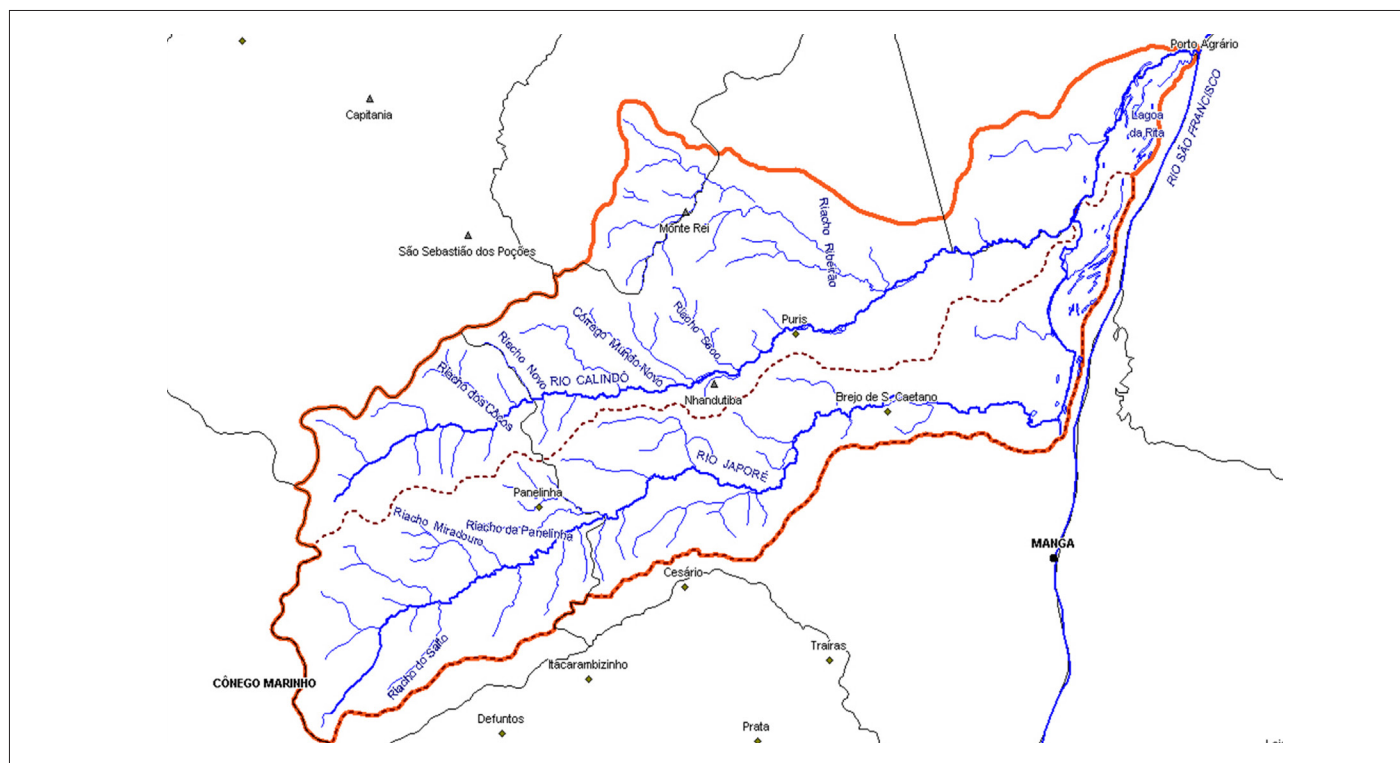


Figura 2 - Redes de drenagem do Rio Japoré

Fonte: Elaboração dos autores.

Aproximadamente, 50% da Bacia do Rio Japoré, a partir da sua nascente, apresenta uma topografia mais acentuada, com presença de cânions, morros, formações rochosas entre outros, áreas consideradas como Áreas de Preservação Permanente (APPs). Nesse trecho a exploração agropecuária é bastante reduzida. Já na outra metade, até a sua foz, a topografia é mais plana, o que favoreceu a implementação de empreendimentos agropecuários.

### Levantamento de dados

Este trabalho foi realizado de setembro de 2008 a abril de 2009, percorrendo toda a extensão do Rio Japoré, com a finalidade de levantar a área irrigada, bem como fazer determinações de sua vazão em vários pontos ao longo de seu curso nos períodos de seca e de chuva também.

Determinaram-se o balanço hídrico climatológico da região e a lâmina bruta de irrigação necessária a partir dos dados meteorológicos. Para a coleta dos dados climáticos levaram-se em consideração as estações meteorológicas situadas o mais próximas possível da Bacia Hidrológica do Rio Japoré. Coletaram-se dados das estações situadas em Manga-MG, Jaíba-MG, Matias Cardoso-MG, Janaúba-MG, Montes Claros-MG e dados de estações meteorológicas particulares. Foram analisados, além dos dados meteorológicos, dados climáticos, tendo como referência as normais climatológicas. Os dados coletados foram: temperaturas máximas, médias e mínimas, velocidade do vento, umidade relativa (UR), radiação, insolação e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).

As vazões foram determinadas pelos métodos do flutuador e também com o molinete em quatro diferentes pontos ao longo do rio, sendo o primeiro próximo à nascente e o último próximo à foz. As datas de medição foram no final do período seco (14/3/2008) e no final do período chuvoso (7/3/2009).

Realizou-se também a medição do volume de duas lagoas, denominadas Malhadinha e Beirada, formadas no final

do Rio Japoré, utilizando-se de um barco, um ecobatímetro e um GPS. Na Lagoa Malhadinha fizeram-se 622 pontos em 11 seções, e na da Lagoa Beirada fizeram-se 1.191 pontos, distribuídos em 33 seções.

Um balanço hídrico climatológico foi realizado a partir dos dados climatológicos. Para efeito do balanço hídrico climatológico considerou-se o coeficiente de cultivo unitário ao longo do ano, uma vez que existirão cultivos diversos em fases fenológicas diferentes. A partir da obtenção da eficiência real dos sistemas de irrigação presentes na Fazenda Beirada determinou-se a lâmina d'água bruta para atendimento das culturas, fazendo-se o mesmo com valor de eficiência considerado mínimo ideal.

Determinou-se então a capacidade de armazenamento de água das Lagoas Beirada e Malhadinha, das vazões necessárias para suprir a demanda das culturas, a vazão que chega às respectivas lagoas associadas a perdas por evapotranspiração, e daí determinada, também a partir desses volumes armazenados nas lagoas, a vazão correspondente ao fluxo de água ao longo do dia.

Determinou-se a vazão mínima de sete dias e duração com período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ), conforme Atlas Digital das Águas de Minas (EUCLYDES, 2011), em sete seções ao longo do rio, correspondentes aos pontos de captação dos maiores usuários de irrigação, os quais foram considerados como seções de referência para fins do balanço hídrico para obtenção da outorga de uso de água de rios pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). Considerou-se o uso de até 50% da  $Q_{7,10}$  na seção em estudo, valor este utilizado em situações de conflito, como é o caso dessa bacia hidrográfica.

Várias simulações foram feitas, a fim de obter o volume de água disponível e, conseqüentemente, a quantificação da área máxima possível a ser irrigada.

Após todos os levantamentos, fez-se em cada uma das sete seções do Rio Japoré selecionadas um balanço hídrico do rio, onde a retirada de água a montante de cada

uma das referidas seções fosse limitada a 50% da  $Q_{7,10}$  naquela seção.

### Resultados

O Gráfico 1 representa as temperaturas registradas na Bacia Hidrográfica do Rio Japoré (INMET, 2008).

Observa-se que as temperaturas máximas oscilaram entre 28 °C e 35 °C e as médias entre 24 °C e 26 °C. Estes resultados apontam que, durante praticamente todo o ano, as temperaturas mantêm-se elevadas, promovendo uma evapotranspiração alta e, conseqüentemente, a necessidade de reposição de água das fontes de captação, bem como das culturas de interesse.

O Gráfico 2 representa a intensidade de insolação e da radiação solar média da Bacia do Rio Japoré.

De acordo com o Gráfico 2, observa-se que tanto a radiação solar como o número de horas sol por dia são bastante expressivos, reforçando a questão levantada da grande perda de água por evapotranspiração. Para a agricultura, estas condições são ideais aos processos metabólicos, fotossintéticos, respiração, trocas gasosas, dentre outras, promovendo, quando bem conduzidas, produtividades com qualidade de alto padrão.

O Gráfico 3 registra o comportamento do vento da Bacia do Rio Japoré (INMET, 2008).

A velocidade média do vento na Bacia do Rio Japoré gira em torno de 2,0 m/s, apresentando rajadas que alcançam até 4,0 m/s. O vento também é fator importante no balanço hídrico, visto que influencia em 14 % das perdas de água para a atmosfera por meio da evapotranspiração. Este fator é de suma importância para a uniformidade da irrigação por aspersão, notadamente nos sistemas de pivô central que asperge as gotas d'água a maiores alturas do solo, onde a velocidade do vento é ainda maior.

O Gráfico 4 mostra o resultado dos cálculos da  $ET_0$  da Bacia do Rio Japoré. Para o cálculo de  $ET_0$ , foi utilizado o método de Hargreaves-Samani, por ser apropriado





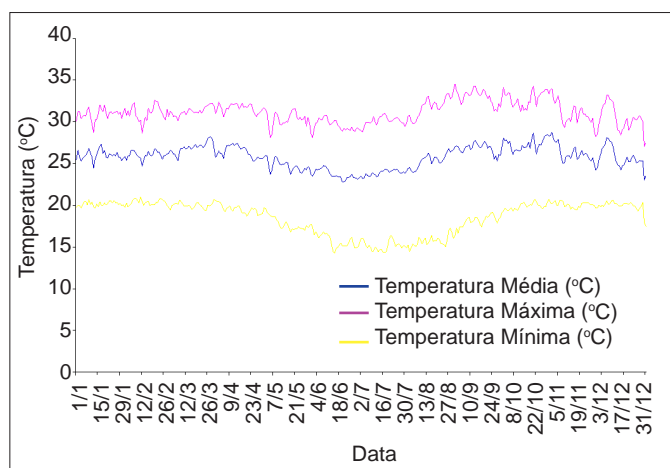


Gráfico 1 - Temperaturas máxima, média e mínima na Bacia do Rio Japoré

Fonte: INMET (2008).

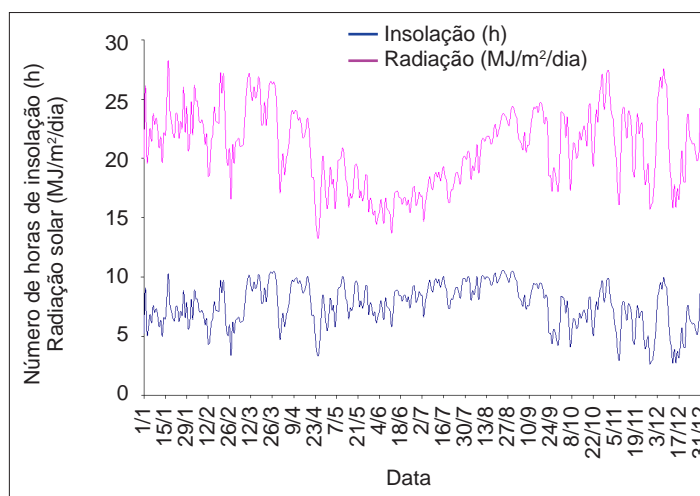


Gráfico 2 - Insolação e radiação solar na Bacia do Rio Japoré

Fonte: Elaboração dos autores.

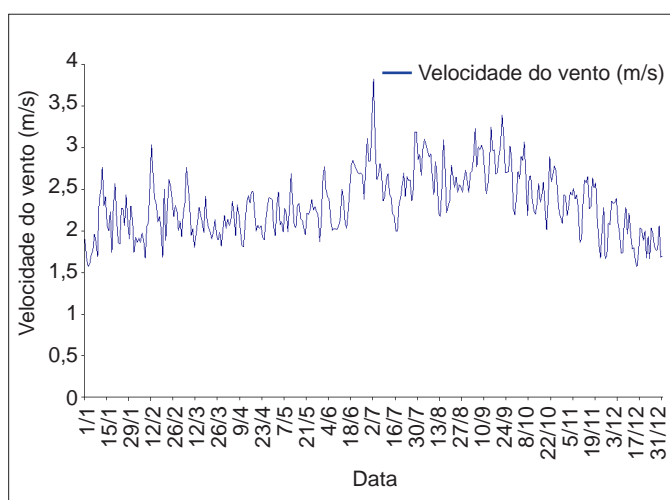


Gráfico 3 - Velocidade do vento ao longo da Bacia do Rio Japoré

Fonte: INMET (2008).

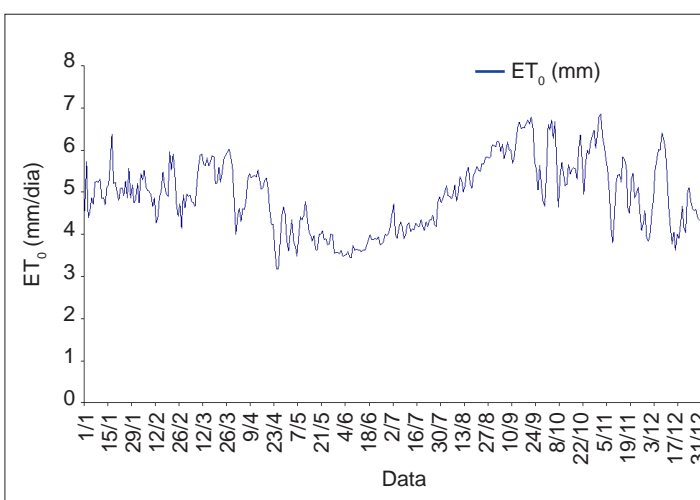


Gráfico 4 - Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) – Manga, MG

Fonte: Elaboração dos autores.

para a região de interesse (ALLEN et al., 1998; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Com base no Gráfico 4, observa-se que a  $ET_0$  atinge valores ao longo do ano entre 3,0 e 7,0 mm. A demanda evapotranspirativa nesta região é bastante elevada, entretanto, entre os meses de maio e agosto a  $ET_0$  não ultrapassa 5,0 mm/dia, o que representa menor necessidade de irrigação. Essa determinação pode ser feita por meio de métodos diversos, mas na Fazenda Beirada em nenhum momento observou-se a utilização do manejo racional da irrigação, o que induz normalmente

a aplicações excessivas de água (a média no Brasil é de 20% a 30 % superior à necessária).

Para efeito de determinação do dimensionamento dos sistemas de irrigação adotou-se a  $ET_0$  correspondente à frequência de ocorrência de 75% dos eventos, ou seja, aquela que poderia ser superada em média 25% das vezes. Tal valor corresponde a uma  $ET_0$  de 5,57 mm/dia.

Com base no balanço hídrico climatológico, tendo as precipitações como entrada de água e a evapotranspiração como saída de água da superfície do solo, elaborou-se o Gráfico 5. É notório que a

região caracteriza-se pelo déficit hídrico no solo ao longo de quase todo o ano.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), conforme Allen et al. (1990), foi de 6,68 mm/dia. A lâmina bruta de irrigação, portanto, foi 7,8 mm/dia, o que permitiu determinar a vazão requerida por hectare irrigado para os sistemas de irrigação por aspersão nessa região do Rio Japoré igual a 0,00108 m<sup>3</sup>/s/ha (1,08 L/s/ha).

A Figura 3 proporciona uma visão geral do Rio Japoré, bem como dos pontos de medições de vazões, demarcados ao longo do percurso do Rio, desde a sua nascente, no município de Miravânia, até a sua foz

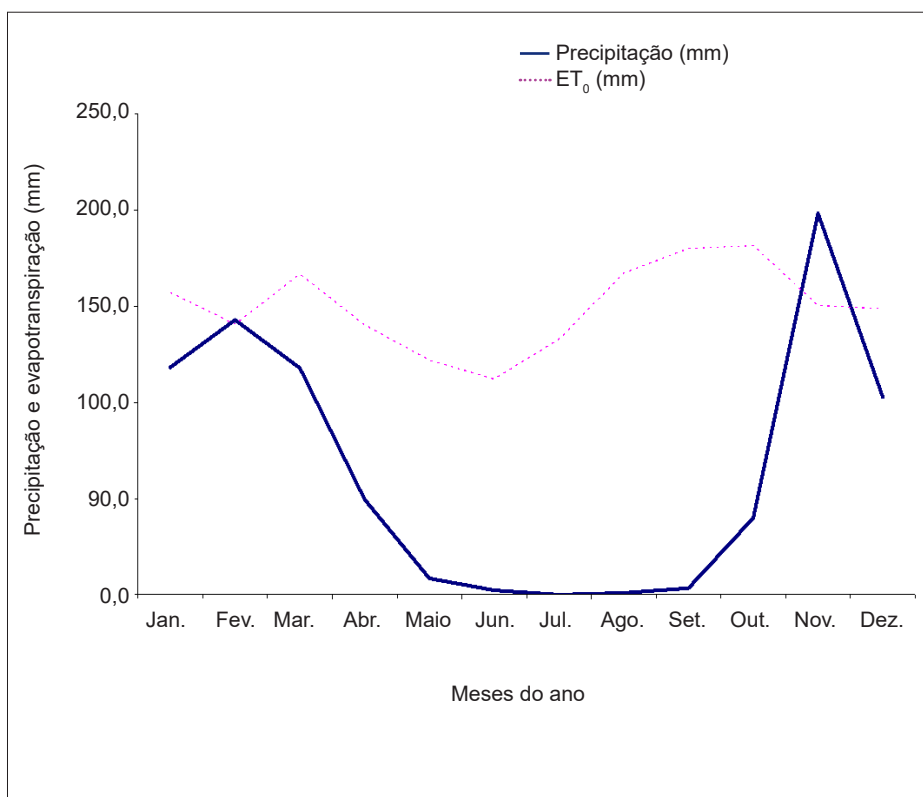


Gráfico 5 - Balanço hídrico climatológico - Manga, MG

Fonte: Elaboração dos autores.

no município de Manga, junto ao Rio São Francisco.

A Figura 2 mostra a rede de drenagem das Bacias dos Rios Japoré e Calindó. É importante salientar que o Rio Calindó tem o seu regime de fluxo de água intermitente enquanto o Rio Japoré é perene, muito provavelmente em função das barragens construídas neste Rio.

Na Tabela 1, são apresentadas as demandas hídricas do Rio Japoré em função dos diversos usos. É possível observar que mais de 99% da água é utilizada para fins de irrigação. Dentre os métodos de irrigação, o que abrange maior área é o de pivô central, com 1.093 ha, e mais do dobro da área irrigada por superfície que contempla 522 ha. A vazão demandada pelas áreas de pivô central é de 1.197,3 L/s, enquanto as áreas irrigadas por superfície demandam 1.044 L/s, ou seja, a demanda de água nos sistemas de pivô central é somente 14,68% maior do que a dos sistemas por superfície, o que demonstra uma maior eficiência de

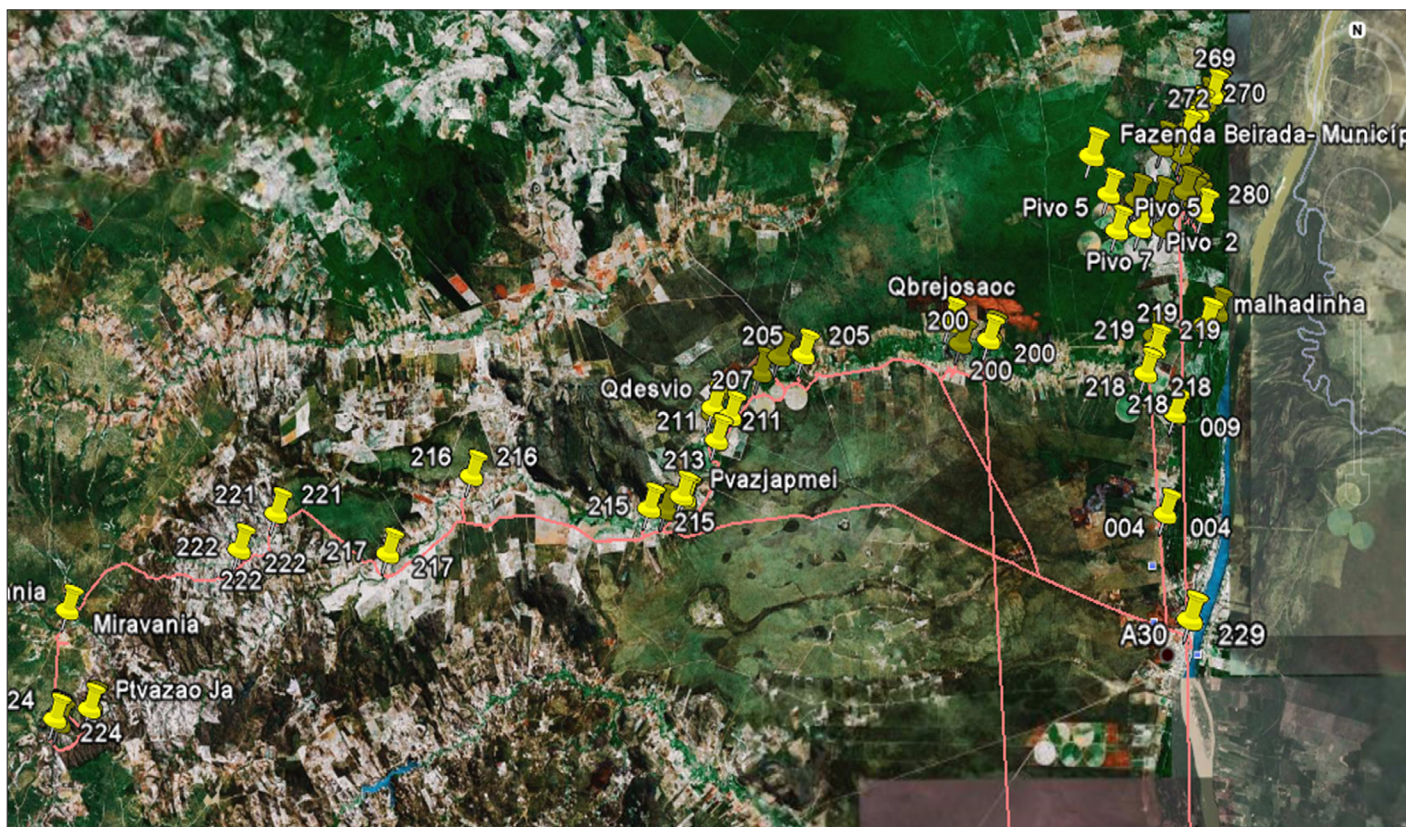


Figura 3 - Visão geral do Rio Japoré e dos pontos georreferenciados ao longo do mês

Fonte: Elaboração dos autores.

uso de água nas áreas com pivô central que é da ordem de 1,095 L/s/ha, enquanto na irrigação por superfície é de 2,00 L/s/ha.

A Tabela 2 apresenta as vazões medidas em quatro seções ao longo do Rio Japoré. Observa-se, pela Tabela 2, que a vazão ao longo deste Rio não sofre variações tão bruscas de valores, reduzindo um pouco mais de 50%. Quando se comparam as vazões medidas no período seco (Vazão 1) e no período chuvoso (Vazão 2) também pode-se observar que a vazão do Rio Japoré não varia consideravelmente ao longo do ano, sendo, portanto, um curso de água perene e com vazão permanente mesmo no período seco do ano, demonstrando receber um fluxo subterrâneo de base persistente, o que é muito difícil de encontrar na região Norte mineira, atualmente.

Os volumes de água acumulados nas Lagoas Beirada e Malhadinha, a partir do estudo de batimetria, foram respectivamente 2.474.117,09 m<sup>3</sup> e 782.308,36 m<sup>3</sup>, na época seca, e na época das águas foram 4.848.152,57 m<sup>3</sup> e 1.532.971,22 m<sup>3</sup>. Considerando-se a utilização de 70% da disponibilidade hídrica dessas duas lagoas, estimou-se a possibilidade de irrigar mais 100 ha ao longo do ano.

Na Tabela 3, é apresentado o balanço hídrico para fins de outorga do Rio Japoré. Nesta Tabela, os menores valores da vazão medida estão demonstrados em cinco seções, a  $Q_{7,10}$  em sete diferentes seções, o sistema de irrigação utilizado ou outro uso em questão, a demanda de água puntual na seção e a acumulada até esta, e o limite mínimo de vazão captada definido pelo Igam para cursos d'água em conflito, ou seja 50% do  $Q_{7,10}$ .

É possível observar pela Tabela 3 que a vazão medida no Rio Japoré no período seco do ano somente sofreu redução a partir da Fazenda Pau d'Óleo, localizada no quartil final do respectivo rio. Pode-se verificar também que, na Lagoa Beirada, a água acumulada representa uma vazão de 0,10126 m<sup>3</sup>/s ao longo do ano, garantindo um aporte hídrico importante principalmente no período seco do ano. No tocante

Tabela 1 - Demanda de água do Rio Japoré

Método de irrigação	Área irrigada (ha)	Área irrigada total (%)	Vazão (L/s)	Vazão total (%)
Superfície	522,0	25,17	1.044,00	37,45
Aspersão convencional	287,1	13,85	344,52	12,36
Aspersão canhão	10,0	0,48	12,00	0,43
Gotejamento	5,0	0,24	5,00	0,18
Pivô central	1093,0	52,7	1.197,3	42,95
Microaspersão	156,0	7,523	171,6	6,15
Manual	0,5	0,024	0,50	0,018
Subtotal	2.073,6	100	2.775	99,54
Dessedentação animal	18.416 animais		12,8	0,46
TOTAL			2.787,8	100

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2 - Valores de vazão medida ao longo do Rio Japoré, com identificação do local de medição, suas coordenadas geográficas e data da medição

Local de medição	Coordenadas geográficas	Vazão 1 (m <sup>3</sup> /s)	Vazão 2 (m <sup>3</sup> /s)
Próximo à nascente	23 L 0562806 e 8365297	1,7144	1,3632
Próximo à Comunidade do Pequi	23 L 0591585 e 8374114	1,5549	1,3357
Ponte do Brejo de São Caetano	23 L 0605083 e 8381580	1,4029	1,4029
Fazenda Pau d'Óleo final debaixo da ponte	23 L 0603678 e 8381896	0,8286	-

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: Vazão 1- Medida em agosto de 2008; Vazão 2- Medida em março de 2009.

ao uso da água para irrigação, o sistema de pivô central aparece como o de maior uso, seguido da irrigação por superfície que se enquadra em outros usos.

A partir da disponibilidade legal definida pelo Igam, cujos valores encontram-se na Tabela 3, na coluna 50%  $Q_{7,10}$ , observa-se um satisfatório balanço hídrico planejado no Rio Japoré com um ajuste de uso, considerando todos os usuários de maior porte e ainda disponibilizando 0,47 m<sup>3</sup>/s para os pequenos usuários, sendo 0,23 e 0,24 m<sup>3</sup>/s na primeira e na segunda metade do rio, respectivamente. Tal observação pode ser comprovada pela comparação entre a demanda de água acumulada e a vazão legalmente permitida pelo Igam (50%  $Q_{7,10}$ ) em cada seção (Fig. 4).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento do uso da água com base na análise coletiva, cujos usuários são todos considerados e o rio é estudado desde a nascente até a sua foz, mostrou-se muito interessante como estratégia de gestão. O Rio Japoré serve como um exemplo para este tipo de estudo. Nesta análise de outorga vê-se que ao longo do rio, em todas as onze seções consideradas, a vazão demandada manteve-se dentro dos limites de captação definidos pelo Igam e as vazões medidas comprovam realmente essa situação, pois mesmo com todos os usos no período seco do ano a Lagoa Beirada, que se encontra próxima à foz do referido Rio, permaneceu cheia e recebendo aporte de água.

Tabela 3 - Balanço hídrico para fins de outorga do Rio Japoré

Seção	Vazão medida (m³/s)	Q <sub>7,10</sub> (m³/s)	Área irrigada (ha)	Demanda (m³/s)		50% Q <sub>7,10</sub>
				Puntual	Acumulada	
Nascente	1,36320	0,40970				
Contril Agropecuário		1,44378	120	0,13000	0,13000	0,7219
Fazenda São Sebastião			10	0,01083	0,14083	0,8575
Comunidade Pequi	1,33570				0,14083	0,8575
Outros usos			200	0,23000	0,37083	0,8575
Fazenda Moendinha			22	0,02383	0,39467	0,9554
Fazenda Nossa Sra. Aparecida		1,91078	188,84	0,20458	0,59924	1,0446
Fazenda Juazeiro	1,40290	2,26750	185	0,20042	0,79966	1,1338
Fazenda Japorema		2,70140	125	0,13542	0,93508	1,3507
Fazenda Pau d'Óleo		2,69514	72	0,07800	1,01308	1,3476
Outros usos			200	0,24000	1,25308	1,3476
Pau d'Óleo	0,55910				1,25308	1,4498
Lagoas	0,10126				1,25308	1,5519
Beirada		3,00262	90	0,09750	1,35058	1,5519
Fazenda Tabua			100	0,10833	1,45891	1,5519

Fonte: Elaboração dos autores.

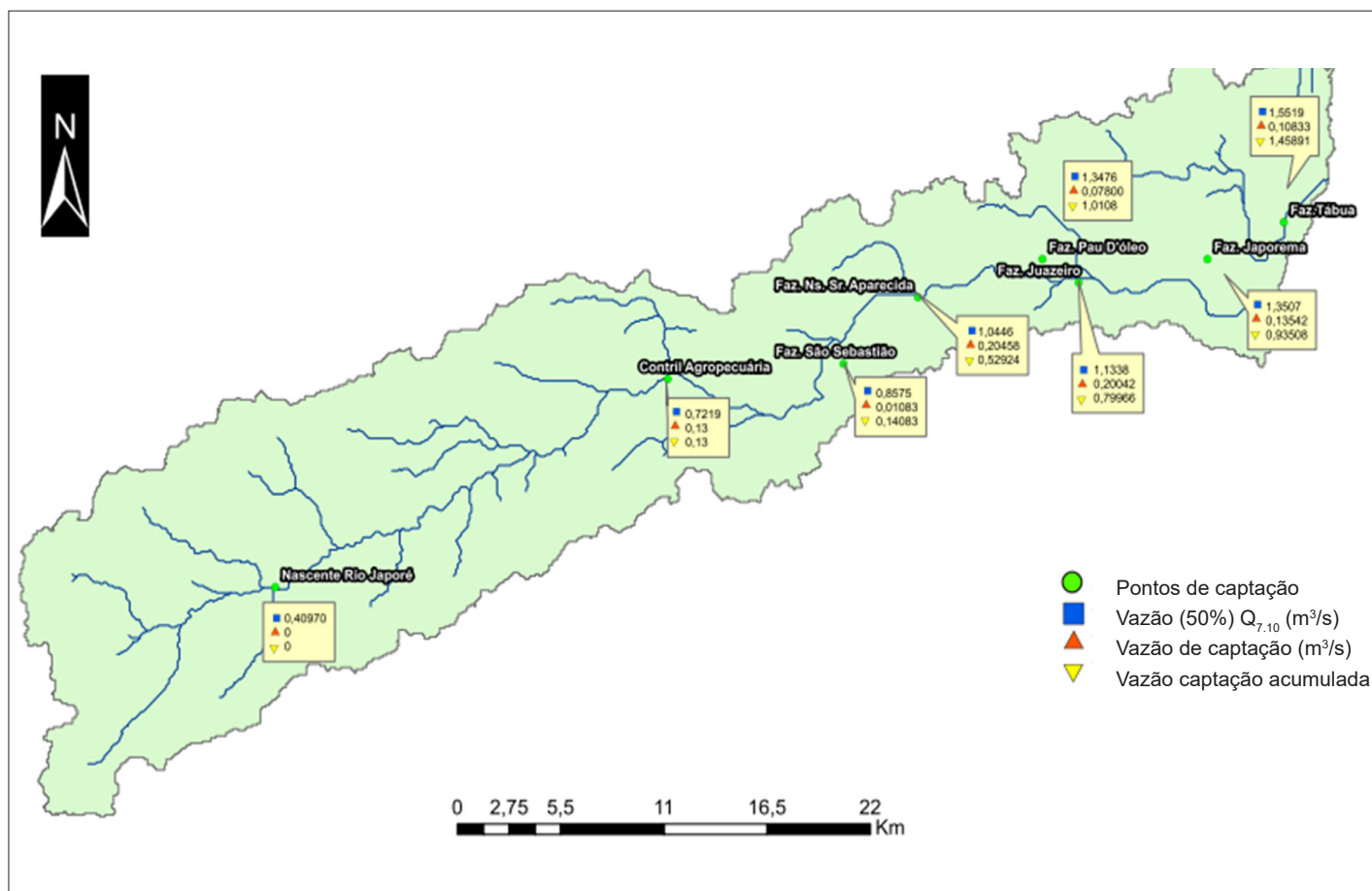


Figura 4 - Balanço hídrico do uso de água ao longo do Rio Japoré com base no procedimento de outorga de Minas Gerais

Fonte: Elaboração dos autores.

É recomendável a instalação de régua graduada nas Lagoas Beirada e Malhadinha, a fim de monitorar seu nível para controle das modificações hidrológicas (vazão e cota da água) ocorridas ao longo do ano. Este controle servirá para garantir o abastecimento de toda a comunidade às margens do Rio Japoré.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Gestão de bacias no Brasil**: evolução da organização e implementação da gestão de bacias no Brasil. Brasília, 2002. 25p.

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 56).

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.

EUCLYDES, H.P. (Coord.). Atlas digital das águas de Minas. Viçosa, MG: UFV, 2011.

Disponível em: <<http://www.atlasdasaguas.ufv.br>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

IGAM. **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010. 1 mapa. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/mapoteca/upgrhs-minas-gerais.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, [2018]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

LIMA, W. de P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 242p.

MARCUZZO, F.F.N.; CARDOSO, M.R.D.; FARIA, T.G. Chuvas no Cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v.6, n.2, p.112-130, ago. 2012.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras

providências. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 30 jan. 1999. Diário do Executivo, p.3.

MOSCA, A.A. de O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando à identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. dos. Bacias hidrográficas: integração entre o meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.19, n.110, p.40-45, jun. 1995. Entrevista.

SOUZA, A.R. Outorgas superficiais na bacia do rio Claro, Minas Gerais - Brasil. In: DI MAURO, C.A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. de O. (Org.). **Planejamento e gestão de recursos hídricos: exemplos mineiros**. Uberlândia: Assis, 2012. p.101-120.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw Hill, 1975. 245p.

# INFORME AGROPECUÁRIO

## Tecnologias para o Agronegócio



Assinatura e vendas avulsas  
 publicacao@epamig.br  
 (31) 3489-5002  
 www.informeagropecuario.com.br



# INSTRUÇÕES AOS AUTORES

## INTRODUÇÃO

O Informe Agropecuário é uma publicação seriada, periódica, trimestral, de caráter técnico-científico e tem como objetivo principal difundir tecnologias geradas ou adaptadas pela EPAMIG, seus parceiros e outras instituições para o desenvolvimento do agronegócio de Minas Gerais. Trata-se de um importante veículo de orientação e informação para todos os segmentos do agronegócio, bem como de todas as instituições de pesquisa agropecuária, universidades, escolas federais e/ou estaduais de ensino agropecuário, produtores rurais, técnicos, extensionistas, empresários e demais interessados. Tem como finalidade a difusão de tecnologia, devendo, portanto, ser organizada para atender às necessidades de informação de seu público, respeitando sua linha editorial e a prioridade de divulgação de temas resultantes de projetos e programas de pesquisa realizados pela EPAMIG e seus parceiros.

A produção do Informe Agropecuário segue uma pauta e um cronograma previamente estabelecidos pelo Conselho de Publicações da EPAMIG e pela Comissão Editorial de Publicações, conforme demanda do setor agropecuário e em atendimento às diretrizes do Governo. Cada edição versa sobre um tema específico de importância econômica para Minas Gerais.

Do ponto de vista de execução, cada edição do Informe Agropecuário terá de um a três Editores técnicos, responsáveis pelo conteúdo da publicação, pela seleção dos autores dos artigos e pela preparação da pauta.

## APRESENTAÇÃO DOS ARTIGOS ORIGINAIS

Os artigos devem ser enviados em CD-ROM ou por e-mail, no programa Microsoft Word, fonte Arial, corpo 12, espaço 1,5 linha, parágrafo automático, justificado, em páginas formato A4 (21,0 x 29,7cm).

Os quadros devem ser feitos também em Word, utilizando apenas o recurso de tabulação. Não se deve utilizar a tecla Enter para formatar o quadro, bem como valer-se de “toques” para alinhar elementos gráficos de um quadro.

Os gráficos devem ser feitos em Excel e ter, no máximo, 15,5 cm de largura (em página A4). Para tanto, pode-se usar, no mínimo, corpo 6 para composição dos dados, títulos e legendas.

As fotografias a serem aplicadas nas publicações devem ser recentes, de boa qualidade e conter autoria. Podem ser enviados, preferencialmente, os arquivos originais da câmera digital (para fotografar utilizar a resolução máxima). As fotos antigas devem ser enviadas em papel fotográfico (9 x 12 cm ou maior), cromo (slide) ou digitalizadas. As fotografias digitalizadas devem ter resolução mínima de 300 DPIs no formato mínimo de 15 x 10 cm na extensão JPG.

Não serão aceitas fotografias já escaneadas, incluídas no texto, em Word. Enviar os arquivos digitalizados, separadamente, na extensão já mencionada (JPG, com resolução de 300 DPIs).

Os desenhos feitos no computador devem ser enviados na sua extensão original, acompanhados de uma cópia em PDF, e os desenhos feitos em nanquim ou papel vegetal devem ser digitalizados em JPG.

## PRAZOS E ENTREGA DOS ARTIGOS

Os colaboradores técnicos da revista Informe Agropecuário devem observar os prazos estipulados formalmente para a entrega dos trabalhos, bem como priorizar o atendimento às dúvidas surgidas ao longo da produção da revista, levantadas pelo Editor técnico, pela Revisão e pela Normalização. A não observação a essas normas trará as seguintes implicações:

- os colaboradores convidados pela Empresa terão seus trabalhos excluídos da edição;
- os colaboradores da Empresa poderão ter seus trabalhos excluídos ou substituídos, a critério do respectivo Editor técnico.

O Editor técnico deverá entregar ao Departamento de Informação Tecnológica (DPIT), da EPAMIG, os originais dos artigos em CD-ROM ou por e-mail, já revisados tecnicamente (com o apoio dos consultores técnico-científicos), 120 dias antes da data prevista para circular a revista. Não serão aceitos artigos entregues fora desse prazo ou após o início da revisão linguística e normalização da revista.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

## ESTRUTURAÇÃO DOS ARTIGOS






Os artigos devem obedecer à seguinte sequência:

- título (português e inglês):** deve ser claro, conciso e indicar a ideia central, podendo ser acrescido de subtítulo. Devem-se evitar abreviaturas, parênteses, fórmulas e nomes científicos que dificultem a sua compreensão;
- nome do(s) autor(es):** deve constar por extenso, com numeração sobrescrita para indicar, no rodapé, sua formação e títulos acadêmicos, profissão, instituição a que pertence e e-mail. Exemplo: Eng. Agrônomo, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul/Bolsista FAPEMIG, Lavras, MG, epamisul@epamig.br;
- resumo/abstract:** deve ser constituído de texto conciso (de 100 a 250 palavras), com dados relevantes sobre a metodologia, resultados principais e conclusões;
- palavras-chave/keywords:** devem constar logo após o resumo. Não devem ser utilizadas palavras já contidas no título;
- texto:** deve ser dividido basicamente em: Introdução, Desenvolvimento e Considerações finais. A Introdução deve ser breve e focar o objetivo do artigo;
- agradecimento:** elemento opcional;
- referências:** devem ser padronizadas de acordo com o “Manual para Publicações da EPAMIG”, que apresenta adaptação das normas da ABNT.

Com relação às citações de autores e ilustrações dentro do texto, também deve ser consultado o Manual para Publicações da EPAMIG.

**NOTA:** Estas instruções, na íntegra, encontram-se no “Manual para Publicações da EPAMIG”. Para consultá-lo, acessar: [www.epamig.br](http://www.epamig.br), em Publicações/Publicações Disponíveis ou Biblioteca/Normalização.

# MINAS LÁCTEA 2019

-  32º Congresso Nacional de Laticínios
-  44ª Expomaq
-  44ª Expolac
-  44º Concurso Nacional de Produtos Lácteos
-  70 Anos da Semana do Laticinista

## 16 a 18 de Julho

Instituto de Laticínios

### Cândido Tostes Expominas Juiz de Fora

[www.minaslactea.com.br](http://www.minaslactea.com.br)



O **AROMA** inconfundível  
de **BONS NEGÓCIOS**

Venha participar da maior feira  
da cafeicultura nacional.

Cursos, dinâmicas de campo, novidades  
em máquinas e equipamentos, tecnologias  
para produção e muito mais!

## 14 DE MAIO

10º Simpósio de Mecanização  
da Lavoura Cafeeira

## 15 a 17 DE MAIO

Expocafé - de 08 às 18 horas

### Informações

- **Coordenação:** (31) 3489-5057
- **Comercialização:** (31) 3379-4983
  - **Imprensa:** (31) 3489-5023
- [facebook.com/expocafeoficial](https://facebook.com/expocafeoficial)

Realização e organização



**Campo Experimental da EPAMIG**  
Rod. MG 167 - Km 6 - Três Pontas - MG





**CONEXÃO E CONTROLE**  
Gerenciamento remoto do pivô ao alcance de suas mãos.



**AGSENSE**



EM DIVERSAS PLATAFORMAS

BRASMAQUINAS

Avenida Edson Brandão Guimarães, 1250  
Bairro São Gonçalo - Jaraguá/MG  
www.brasmaquinas.com.br  
(31) 3823-2855 (31) 9585-0123

**VALLEY**

**MINAS LÁCTEA 2019**

- 32º Congresso Nacional de Laticínios
- 44ª Expomag
- 44ª Expolac
- 44º Concurso Nacional de Produtos Lácteos
- 70 Anos da Semana do Laticinista

**16 a 18 de Julho**  
Instituto de Laticínios  
**Cândido Tostes**  
Expominas Juiz de Fora

www.minaslactea.com.br




www.expocafe.com.br

**EXPOCAFÉ 2019**  
O AROMA inconfundível de BONS NEGÓCIOS

Venha participar da maior feira da cafeicultura nacional.

Cursos, dinâmicas de campo, novidades em máquinas e equipamentos, tecnologias para produção e muito mais!

**14 DE MAIO**  
10º Simpósio de Mecanização da Lavoura Cafeeira

**15 a 17 DE MAIO**  
Expocafé - de 08 às 18 horas

**Informações**

- Coordenação: (31) 3489-5057
- Comercialização: (31) 3379-4983
- Impressão: (31) 3489-5053
- facebook.com/expocafecultural

Parceria Especial

**EPAMIG**

Campos Experimentais da EPAMIG  
Rod. MG 167 - Km 6 - Três Pontas - MG

**EPAMIG Empório**  
Vitrine de Tecnologias

O espaço EPAMIG Empório tem a proposta de aproximar colaboradores, visitantes e a sociedade das tecnologias produzidas pela Empresa. No EPAMIG Empório estas tecnologias estão disponibilizadas na forma de produtos para aquisição, demonstração e difusão de informações.

**Queijos**  
Os produtos são a qualidade e tradição de produtores de Laticínios Clássicos. Todos, referência na América Latina.

**Cafés de Qualidade**  
Café 100% Arábica, cultivado como um blend de variedades nas regiões Serra Chará e Bivona.

**Vinhos e Espumantes**  
As pesquisas da EPAMIG proporcionam um grande espaço no cultivo de uvas e na fabricação de vinhos, vinhos finos e espumantes de qualidade, com terrais próprias.

**Azeite Extravirgem**  
O azeite EPAMIG, primeiro tipo extravirgem produzido no Brasil, tem-se destacado em eventos nacionais e internacionais de gastronomia e atrai a atenção de chefs e apreciadores.


**Publicações**  
A EPAMIG divulga as publicações e tecnologias produzidas pelas pesquisas por meio de publicações técnicas, com destaque para o Informe Agropecuário, uma das principais revistas do gênero no país.

EPAMIG Empório - Vitrine de Tecnologias  
Avenida José Cândido da Silveira, 1647  
União - CEP 31170-495 - Belo Horizonte - MG  
Tel.: (31) 3489-5000 - www.epamig.br

EPAMIG Empório - Cândido Tostes  
Rua Tenente Celso de Faria, 156  
B. Santa Teresinha - CEP 36065-500 - Juiz de Fora - MG  
Tel.: (32) 3225-5852 - epamig@epamig.br




**Publicações para download**




Informe Agropecuário  
Folheters  
Boletim Técnico  
Cartilhas  
Circulares técnicas  
Série Documentos

Confira no site  
[www.epamig.br](http://www.epamig.br)



Venha no próximo

**INFORME AGROPECUARIO**

**Tecnologias para a produção de alimentos seguros**

Avanços e desafios no registro de agentes de controle biológico

Agrobiodiversidade no manejo de pragas

Biofábrica de ácaros e insetos predadores

Sucesso do controle biológico de pragas da cana-de-açúcar

Produtos derivados de plantas para o controle de pragas e doenças

Produção de milho e soja no Cerrado com uso de insumos biológicos

Leia e Assine o  
**INFORME AGROPECUARIO**  
(31) 3489-5002  
[publicacao@epamig.br](mailto:publicacao@epamig.br)  
[www.informeagropecuario.com.br](http://www.informeagropecuario.com.br)

EPAMIG/ABCZ - MAR/2019

**SHOPPING GIR LEITEIRO**  
EPAMIG 2019

O tradicional Leilão da EPAMIG agora é Shopping Gir Leiteiro. Muito mais vantagens para o produtor.

**De 29/04 a 03/05/2019**  
Das 8 às 16 horas

Campos Experimentais Getúlio Vargas  
Rua Afonso Rato, 1.301  
B. Mercês - Uberaba - MG

Realização  
**EPAMIG**

Shopping Gir  
**ABCZ**

**MATRIZES E REPRODUTORES DE ALTO VALOR GENÉTICO**

Informações  
(34) 3317-7600  
[cogt@epamig.br](mailto:cogt@epamig.br)



**INFORME AGROPECUARIO**

**Tecnologias para o Agronegócio**



Assinatura e vendas avulsas  
[publicacao@epamig.br](mailto:publicacao@epamig.br)  
(31) 3489-5002  
[www.informeagropecuario.com.br](http://www.informeagropecuario.com.br)




**MUDAS DE OLIVEIRA**

Garantia de procedência, mudas padronizadas, qualidade comprovada e variedade identificada

Pedidos e informações:  
Campos Experimentais de Maria da Fé  
CEP: 37517-000 - Maria da Fé - MG  
e-mail: [cemf@epamig.br](mailto:cemf@epamig.br)  
Tel: (35) 3662-1227




INFORME AGROPECUARIO



INFORME AGROPECUARIO