

REGULAÇÃO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

TEODORICO ALVES SOBRINHO
ORGANIZADOR



© 2023 - Teodorico Alves Sobrinho

TÍTULO

REGULAÇÃO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

ORGANIZADOR

Teodorico Alves Sobrinho

ELABORAÇÃO DOS ORIGINAIS

Coordenadores dos projetos no programa
Comissão ANA-CPES de Acompanhamento do
Programa Pró-Recursos Hídricos

REVISÃO

Eva Mercedes Martins Gomes

DIAGRAMAÇÃO

Ricardo Barbosa Porto

CAPA E INFOGRÁFICOS

Raquel de Faria Godoi Silva

EDIÇÃO, PROJETO GRÁFICO

Editora Oeste

PUBLICAÇÃO DA



Editora
Oeste

www.editoraoeste.com.br

contato@editoraoeste.com.br

ISBN 978-854558448-3

Depósito Legal na Biblioteca Nacional

Impresso no Brasil

livro disponível em:

<https://www.editoraoeste.com.br/145-prorecursos>

ILUSTRAÇÕES DA CAPA

©2011 CIAT/NeilPalmer. (CC BY-SA 2.0) | <https://www.flickr.com/photos/ciat/5641025611/in/album-72157631668947220/>.

Boris1968 | <https://www.freeimages.com/photo/reflecting-trees-in-pantanal-1554972>.

Fairmont Butte, California | <https://www.freeimages.com/photo/aerial-view-of-fairmont-butte-california-2063262>.

Itaipu International (CC BY 2.0) | <https://www.flickr.com/photos/hydropower/5915176674/in/set-72157627144851872>.

Alexandre Saraiva Carniato | <https://www.pexels.com/photo/person-in-red-and-white-shirt-standing-on-water-5597772/>.

Creative Vix. (CC0 1.0) | <https://www.pexels.com/photo/person-pouring-water-photography-9749/>.

Porto de Santos (SP) (CC BY-NC-SA 2.0) | <https://www.flickr.com/photos/pacgov/6006197603>.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

R344

Regulação e gestão de recursos hídricos no Brasil / Teodorico Alves Sobrinho (Organizador);
Raquel de Faria Godoi Silva (Ilustradora). – Campo Grande: Oeste, 2023.

392 p., il., fotos.; 15 X 22 cm

ISBN 978-85-45584-48-3

1. Engenharia sanitária. 2. Gestão. 3. Previsões climáticas. 4. Hidrologia. I. Alves Sobrinho,
Teodorico (Organizador). II. Silva, Raquel de Faria Godoi (Ilustradora). III. Título.

CDD 628

Índice para catálogo sistemático

I. Engenharia sanitária

TEODORICO ALVES SOBRINHO
ORGANIZADOR

REGULAÇÃO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL



Editora
Oeste

Campo Grande
2023

Obra aprovada pelo conselho editorial da Editora Oeste
através da Resolução n. 145/2023.

CONSELHO EDITORIAL

Dr^o. Alda Maria do Nascimento Osório / UFMS
Dr^o. Alexandra Ayach Anache / UFMS
Dr. Amaury de Souza / UFMS
Dr. Antônio Carlos do Nascimento Osório / UFMS
Dr^o. Carla Dupont – França / Vercors
Dr^o. Eurize Caldas Pessanha / UFMS
Dr^o. Fabiany de Cássia Tasvares Silva / UFMS
Dr. Flávio Aristone / UFMS
Me. Horacio Porto Filho / UTCD-PY
Dr. Leo Dayan – Univ. de Paris 1 / Sorbonne
Dr. Luiz Otavio Saraiva Ferreira / UNICAMP
Dr^o. Margarita Victoria Rodriguez / UFMS
Dr^o. Maria Dilnéia Espindola Fernandes / UFMS
Dr^o. Myrna Wolf B. dos Santos / UFMS
Dr^o. Regina Tereza Cestari de Oliveira / UCDB
Dr^o. Soraia Napoleão de Freitas / UFSM
Dr^o. Silvia Helena Andrade de Brito / UFMS
Dr^o. Tatiana Calheiros Lapas Leão / SED-MS

UMA PUBLICAÇÃO DA



EDITORIA ASSOCIADA



www.editoraoeste.com.br • contato@editoraoeste.com.br
Campo Grande • Mato Grosso do Sul
ISBN 978-85-45584-48-3
Tiragem: 150 exemplares.
1ª Edição - Ano 2023

Todos os direitos reservados.

Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma e/ou quaisquer meios (eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e gravação) ou arquivada em qualquer sistema ou banco de dados sem permissão escrita da editora, como pesquisa é permitido desde que citada a fonte.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

Marina Silva

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Antonio Waldez Góes da Silva

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Camilo Santana

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA

Veronica S. da Cruz Rios (Diretora-Presidente)

Maurício Abijaodi

Ana Carolina Argolo

Filipe de Mello Sampaio Cunha

Luis André Muniz (interino)

SUPERINTENDENTE DE APOIO AO SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS - ANA

Humberto Cardoso Gonçalves

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES

Mercedes Maria da Cunha Bustamante (Presidente)

Diretoria de Programas e Bolsas no País

Laerte Guimarães Ferreira Junior (Diretor)

COMITÊ GESTOR DO PROGRAMA PRÓ-RECURSOS HÍDRICOS

Celina Maria Lopes Vieira

Alan Vaz Lopes

Alice Plakoudi Souto Maior

Priscila Lelis Cagni

EQUIPE TÉCNICA DA ANA

Alan Vaz Lopes

Carlos Alberto Perdigão Pessoa

Celina Maria Lopes Vieira

Flavio Hadler Trogger

Helber Nazareno de Lima Viana

Juliana Dias Lopes

Leonardo Peres Araújo Piau

Lígia Maria Nascimento de Araújo

Márcio de Araújo Silva

Márcio Tavares Nóbrega

Marcus Vinicius Araújo Mello de Oliveira

Melquizedequi Bento Alves

Saulo Aires de Souza

Thiago Henriques Fontenele

Wilde Cardoso

EQUIPE TÉCNICA DA CAPES

Alice Plakoudi Souto Maior

Ana Paula Pereira dos Santos

Carolina Costa Borges

Hayslla Boaventura Piotto

Júlio César Piffero de Siqueira

Marta Inês Caldart de Mello

Priscila Lelis Cagni

PARCEIROS INSTITUCIONAIS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA

www.gov.br/ana/pt-br

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

Superior – CAPES. <https://www.gov.br/capes/pt-br>

COORDENADORES DOS PROJETOS EXECUTADOS

- **Adilson Pacheco de Souza**
Daniel Fonseca de Carvalho;
Teodorico Alves Sobrinho
- **Alexandre de Pádua Carrieri**
Patrícia Campos Borja;
Marcelo Machado de Luca de Oliveira Ribeiro
- **Diana Francisca Adamatti**
Marilton Sanhotene de Aguiar; Raquel de Miranda Barbosa
- **Fernán Enrique Vergara Figueroa**
Quirijn de Jong Van Lier; Conceição de Maria Albuquerque Alves
- **Humberto Ribeiro da Rocha**
Anderson Luis Ruhoff; Luiz Eduardo de Oliveira Cruz e Aragão;
Débora Regina Roberti
- **Laura de Simone Borna**
Maria Angelica Toniolo; Pedro Roberto Jacobi
- **Marcelo Henrique Farias de Medeiros**
Lineu José Pedroso; Maryangela Geimba de Lima
- **Marcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes**
Marcelo Pereira da Cunha;
Ignácio Tavares de Araújo Júnior
- **Masato Kobiyama**
Claudia Weber Corseuil; Irani dos Santos;
Nilzo Ivo Ladwig
- **Paulo de Marco Junior**
Ludier Kesser Santos Silva; Renato Zanella;
Dilermando Pereira Lima Junior
- **Sin Chan Chou**
Benedito Claudio da Silva; Luis Henrique Basso
- **Vera Lucia de Moraes Huszar**
Marcelo Manzi Marinho; Ermani Pinto

Este livro contém os principais resultados do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos no Brasil – Pró-Recursos Hídricos, construído por meio de parceria institucional entre a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O Pró-Recursos Hídricos englobou 12 projetos de pesquisa que foram executados de 2018 a 2023. Os projetos foram organizados em Redes de Pesquisas, com participação de 29 diferentes instituições de ensino e de pesquisa brasileiras.

Em seu primeiro capítulo, o livro descreve o programa Pró-Recursos Hídricos, o contexto em que ele surgiu, seus objetivos, as áreas temáticas contempladas, o processo de seleção dos projetos e o acompanhamento do Programa pela ANA e pela CAPES. Na sequência, em 12 capítulos elaborados pelos coordenadores de cada projeto, são descritos seus objetivos, as atividades executadas e os resultados alcançados referentes ao avanço do estado da arte na área do conhecimento, à formação de recursos humanos, às contribuições científicas, tecnológicas e sociais, e ao avanço da gestão de recursos hídricos na área de abrangência do projeto. A ênfase foi dada na implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos e na melhoria do funcionamento do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos. São apresentadas também as principais conclusões e as perspectivas futuras no âmbito dos projetos. No capítulo final, os resultados consolidados e as perspectivas futuras do programa são avaliados pelas equipes da ANA e da CAPES, em conjunto com o organizador do livro.

SUMÁRIO

1. O programa de apoio ao ensino e à pesquisa científica e tecnológica em regulação e gestão de recursos hídricos – Pró-Recursos Hídricos 9
2. Incorporação de previsões climáticas e hidrológicas na gestão da alocação de água no rio São Francisco 25
3. Integração de modelos econômicos para apoio à decisão em políticas de alocação de águas 58
4. Rede de pesquisa para gestão de alto nível dos recursos hídricos na bacia do rio Formoso - TO..... 90
5. Gestão participativa dos recursos hídricos utilizando jogos computacionais e sistemas multiagentes..... 116
6. Planejamento estratégico integrado como ferramenta para zoneamento ecológico de bacias hidrográficas..... 146

7. Governança dos recursos hídricos: análises do perfil e do processo de formação dos representantes	164
8. Recursos hídricos na bacia do rio Paraíba do Sul: integrando aspectos naturais e antrópicos	198
9. Disponibilidade hídrica e produção de sedimentos em cenários ambientais na bacia hidrográfica do rio Teles Pires.....	229
10. Influência da floresta na dinâmica hidrossedimentológica de bacias montanhosas no sul do Brasil	256
11. Gestão da segurança de barragens de concreto com processo de degradação por reações expansivas em evolução: inspeção, diagnóstico e prognóstico por modelamento numérico	286
12. Monitoramento e controle de florações de cianobactérias em sistemas aquáticos tropicais - Ciano-Control	312
13. Estimativa de evapotranspiração por sensoriamento remoto para gestão de recursos hídricos no Brasil.....	340
14. Consolidação dos resultados gerais do Pró-Recursos Hídricos	369

**O programa de apoio ao
ensino e à pesquisa científica e
tecnológica em regulação e gestão de
recursos hídricos – Pró-Recursos Hídricos**

Celina Maria Lopes Vieira

Alan Vaz Lopes

Ana Paula Pereira dos Santos

Carolina Costa Borges

Júlio César Piffero de Siqueira

Marta Inês Caldart de Mello

A implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos requer profissionais habilitados para trabalhos de alta complexidade. Em 2016, com iniciativas da ANA e da Capes, formou-se uma parceria para estimular a pesquisa e a capacitação de recursos humanos na regulação e gestão de recursos hídricos. As tratativas culminaram na formulação do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos, concretizado com a Chamada Pública CAPES - ANA – Edital nº 16/2017. O Pró-Recursos Hídricos teve como objetivo estimular a realização de projetos conjuntos de pesquisa com vistas a possibilitar o desenvolvimento de pesquisas científicas e a formação de recursos humanos nas áreas de Regulação e Gestão de Recursos Hídricos. Os recursos financeiros, oriundos do orçamento da ANA, cobriram despesas de custeio, capital e bolsas. As propostas foram organizadas por linha temática, tendo sido selecionados 12 projetos, com recursos aplicados que totalizaram R\$ 10.546.953,00. O acompanhamento dos projetos ocorreu por meio de seminários, reuniões e relatórios anuais. A execução financeira de 95% dos recursos, a formação de 64 mestres, 52 doutores e 39 treinamentos de pós-doutorado evidenciam o excelente funcionamento da parceria entre ANA e CAPES e os significativos resultados do programa.

CONTEXTO DA CRIAÇÃO DO PROGRAMA

Dentre as atribuições da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, conforme definido no Art. 4º de sua lei de criação (Lei nº 9984, de 2000), encontra-se o estímulo à pesquisa e à capacitação de recursos humanos para a gestão de recursos hídricos. Trata-se de função de grande relevância, tendo em vista a complexidade e os desafios relacionados à implementação e à operacionalização dos instrumentos de gestão de recursos hídricos - definidos na Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei das Águas - nº 9433, de 1997) – e ao próprio funcionamento efetivo do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recurso Hídricos (SINGREH), também criado pela PNRH. Para cumprir essa responsabilidade, a ANA tem realizado parcerias com instituições de fomento ao ensino e à pesquisa, com destaque para a parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

O processo de implementação da PNRH tem evidenciado, desde o seu início, a necessidade de profissionais qualificados em várias áreas de formação e a produção contínua de novos conhecimentos, necessários para equacionar os desafios únicos da gestão de recursos hídricos. Esse processo tem contado com o conhecimento e com pesquisas desenvolvidas por profissionais formados nas diversas Universidades e centros de pesquisas em recursos hídricos do País, criados ao longo de décadas. Entretanto, novos desafios têm demandado ações mais abrangentes e robustas, orientadas a ampliar e fortalecer a estrutura de capacitação nas áreas temáticas que se relacionam à gestão e à regulação de recursos hídricos no ensino de pós-graduação e a promover o desenvolvimento de pesquisas voltadas à produção de novos conhecimentos e metodologias nessas áreas.

Nesse contexto, a parceria com a CAPES foi pensada de imediato como o mecanismo natural e efetivo para implementar tais ações. A CAPES foi institu-

ída como uma Comissão, em 1951, pelo Decreto nº 29.741, com a finalidade de promover o aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, principalmente por meio da concessão de bolsas de estudo e de apoio à criação de programas de pós-graduação. No início da década, em 1953, o País contava com apenas 27 programas de mestrado e 11 de doutorado. Após décadas de atuação da CAPES, tendo sido extinta em março de 1990, e recriada no mês seguinte, pela Lei nº 8028, de 1990, como fundação pública, o número de programas de mestrado saltou para mais de mil, e os de doutorado para cerca de 600, em 1995. Assim, ao longo de sua história, a CAPES exerceu papel fundamental na expansão e na consolidação da pós-graduação *stricto sensu* no país e acumulou vasta e exitosa experiência em financiamento de projetos especiais de estudos no Brasil, voltados à missão de estimular a formação de recursos humanos de alto nível.

Assim, em 2014, a Diretoria Colegiada da ANA decidiu iniciar articulações com a CAPES para construção de um programa de apoio ao desenvolvimento de pesquisas científicas e à formação de recursos humanos nas áreas de regulação e gestão de recursos hídricos. Naquele ano, o País vivenciava situações excepcionais na área de recursos hídricos, com um cenário de escassez hídrica sem precedentes, com crises hídricas afetando diversas regiões e demandando respostas urgentes e efetivas das diversas instituições do SINGREH:

- I. ao final do período chuvoso de 2014, o sistema interligado nacional havia atingido seu pior nível de armazenamento já observado;
- II. a navegação na hidrovía Tietê-Paraná, a mais importante do País, estava parcialmente interrompida desde maio de 2014, em razão de baixos níveis dos reservatórios, e permaneceria com interrupções até 2016;
- III. o sistema Cantareira, em São Paulo, havia atingido seu pior nível de armazenamento da história, impondo um racionamento de água a 9 milhões de pessoas;
- IV. a bacia do rio São Francisco e seus reservatórios passavam pela pior seca já observada, e o reservatório de Sobradinho atingiria 0% de armazenamento útil ao final do ano de 2015;

- v. os açudes da região semiárida chegavam ao terceiro ou quarto ano de seca, atingindo níveis de armazenamento críticos e comprometendo o abastecimento público em inúmeras cidades, muitos experimentariam mais dois ou três anos de seca.

Ao mesmo tempo, estavam em declínio os financiamentos federais de projetos de pesquisa em recursos hídricos no País. Houve estagnação dos aportes do CT-Hidro, fundo setorial de recursos hídricos, criado em 1998 com recursos da compensação financeira pelo uso de recursos hídricos de aproveitamentos hidrelétricos vinculado ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT. Em 2015, o orçamento empenhado desse fundo era de apenas R\$ 3,87 milhões, e os pagamentos somavam somente R\$ 2,94 milhões. Em 2016, o orçamento foi reduzido para R\$ 2,91 milhões, e os pagamentos para R\$ 1,76 milhões. Os valores permaneceram nesse patamar em 2017 e 2018, até que foram reduzidos a impressionantes R\$ 153.857 reais em orçamento empenhado em 2019, e números ainda menores em 2020 e 2021. Em 2022, o orçamento empenhado atingiu seu maior nível, com R\$ 8,9 milhões, mas com pagamentos de R\$ 2,18 milhões. Em 2023, até julho, o orçamento empenhado já era de R\$ 9,8 milhões, e os pagamentos chegaram a R\$ 3,68 milhões, maior valor desde 2015.

Com isso, verificavam-se lacunas de conhecimento e carência de recursos humanos com formação avançada, para tratar os desafios emergentes na área de recursos hídricos. Olhando para o futuro, percebeu-se ser necessário investir em novos projetos de pesquisa e de formação profissional qualificada para formular questões e desenvolver soluções científicas e tecnológicas focadas nesses desafios, que se apresentavam no processo de gestão e regulação de recursos hídricos.

Assim, considerando que a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos requer profissionais qualificados capazes de desenvolver trabalhos de alta complexidade, ligados à gestão e à regulação do uso de um bem público, em 2016, a ANA e a Capes firmaram parceria, no intuito estimular a pesquisa e a capacitação de recursos humanos para a gestão de recursos hídricos. A iniciativa, em consonância com o papel da CAPES na expansão e na consolidação da pós-graduação stricto sensu no país e sua já mencionada expertise no finan-

ciamento de projetos, e com as atribuições da ANA, buscava superar os desafios para a realidade brasileira.

Nesse contexto, as tratativas entre as áreas técnicas da ANA, protagonizadas pela Coordenação de Capacitação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Superintendência de Apoio ao SINGREH, e da CAPES, por meio da Coordenação de Programas de Indução e Inovação da Diretoria de Programas e Bolsas, culminaram na formulação do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos, concretizado com a elaboração conjunta da Chamada Pública CAPES – ANA (Edital nº 16/2017). O Edital 16/2017 foi publicado no Diário Oficial da União, no dia 08 de maio de 2017.

OBJETIVOS

O Pró-Recursos Hídricos teve como objetivo geral “*estimular no País a realização de projetos conjuntos de pesquisa com vistas a possibilitar o desenvolvimento de pesquisas científicas e a formação de recursos humanos pós-graduados nas áreas de Regulação e Gestão de Recursos Hídricos, contribuindo, assim, para desenvolver e consolidar o conhecimento brasileiro contemporâneo na área*”. Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para o Programa:

- I. Estimular iniciativas em áreas temáticas prioritárias, promovendo o desenvolvimento de projetos, produtos, processos, serviços e sistemas inovadores e sustentáveis que contribuíssem para a solução de problemas diretos e indiretos na área de gestão e regulação de recursos hídricos.
- II. Promover o intercâmbio de conhecimentos na comunidade acadêmica, estimulando parcerias (redes de pesquisa e/ou consórcios interinstitucionais) entre IES e Centros de Pesquisa nacionais e internacionais e outras instituições capacitadas a desenvolver estudos de forma articulada nas áreas temáticas identificadas.
- III. Apoiar a formação de recursos humanos em nível de pós-graduação stricto sensu, nas áreas temáticas consideradas prioritárias.

- iv. Apoiar a realização de projetos de pesquisa concedendo cotas de bolsas de pós-doutorado, nas áreas temáticas prioritárias.
- v. Avançar o conhecimento e a produção científica e tecnológica, nas áreas temáticas prioritárias.
- vi. Contribuir para o fortalecimento de Programas de Pós-graduação *stricto sensu* no País com atuação nas áreas temáticas prioritárias, com enfoque multidisciplinar.
- vii. Estimular a divulgação científica e transferência de tecnologia nas áreas contempladas nessa Chamada e apoiar a geração de material didático, de informática e de difusão nessas áreas temáticas.

ÁREAS TEMÁTICAS DO PROGRAMA

Oito áreas temáticas prioritárias foram identificadas por meio de consulta e discussões com especialistas da ANA, de diferentes unidades organizacionais da Agência, a saber:

1. *Modelagem e arranjos institucionais para gestão de recursos hídricos*: teve por objetivo traçar diagnósticos de arranjos institucionais existentes, conhecer os modelos alternativos bem-sucedidos praticados e e propor ajustes e novos modelos institucionais para gestão de recursos hídricos, com foco na sustentabilidade financeira e operacional das diferentes entidades, na diversidade de situações regionais (ex. Semiárido, Amazônia e mesmo em algumas regiões costeiras), na representação política, na capacidade de articulação institucional e entre setores usuários, e na capacidade de discussão, planejamento e proposição de soluções para problemas de recursos hídricos mais localizados.

2. *Instrumentos e ferramentas de gestão de recursos hídricos*: teve por objetivo desenvolver propostas de integração e aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos instituídos pela PNRH, que tradicionalmente têm sido implementados isoladamente, explorando o potencial de integração, por exemplo, entre outorga e cobrança, e entre outorga, planos de recursos hídricos e enquadramento de corpos d'água.

3. *Governança e participação social na gestão de recursos hídricos*: teve por objetivo desenvolver metodologias e analisar processos decisórios participativos, relações de poder, identificação de atores, relações entre estado e sociedade, gestão de conflitos, negociação e arbitragem, visando conferir sustentabilidade social e participativa aos modelos de gestão existente, superando os problemas de assimetria de informações, baixa representatividade e falta de cultura de participação e decisão coletiva.

4. *Regulação de Recursos Hídricos*: teve por objetivo desenvolver metodologias, modelos e instrumentos legais e institucionais que permitissem uma atuação regulatória do Estado mais efetiva na regulação e controle de usos da água, sobretudo em situação de escassez hídrica, buscando superar as atuais limitações de instrumentos como a cobrança, outorga e alocação negociada de água.

5. *Monitoramento, controle e fiscalização de usos da água*: teve por objetivo desenvolver tecnologias inovadoras de monitoramento e controle de usos da água, considerando as diferentes tipologias e perfis de usuários, o grande número de usuários existentes, sua dispersão por grandes extensões geográficas, incluindo técnicas de sensoriamento remoto, veículos aéreos não tripulados, e tecnologias de coleta, análise e transmissão de dados.

6. *Instrumentos, tecnologias e metodologias de alocação de água*: teve por objetivo desenvolver metodologias e instrumentos institucionais de alocação de água em situações de balanço hídrico crítico, considerando custos e benefícios econômicos, sociais e ambientais, aperfeiçoando as atuais metodologias tradicionalmente baseadas apenas em balanço hídrico e análise de riscos.

7. *Recursos Hídricos e Florestas*: teve por objetivo desenvolver estudos que possibilitassem aferir impactos de diferentes tipos de cobertura florestas sobre a quantidade e qualidade da água, buscando indicar com maior clareza a magnitude dos efeitos referentes à proteção do solo, retenção de sedimentos e infiltração de água no solo, disponibilidade hídrica e qualidade da água.

8. *Segurança de Barragens*: teve por objetivo desenvolver ferramentas e metodologias voltadas à modelagem de ruptura de barragens, análise de riscos, avaliação de impactos potenciais, critérios e parâmetros de priorização para avaliação e fiscalização da segurança de barragens, de modo a orientar e aperfeiçoar os

processos de regulação e fiscalização referentes à política nacional de segurança de barragens, instituída pela Lei 12334, de 2010.

Essas áreas temáticas foram definidas principalmente considerando as dificuldades que resultaram das crises hídricas e refletem as discussões que ocorreram na ANA, nos anos anteriores ao lançamento do edital sobre desafios e lacunas de conhecimento, no sistema de gestão de recursos hídricos. As áreas temáticas prioritárias do Pró-Recursos Hídricos, com a descrição da sua justificativa e objetivos, estão apresentadas no *Anexo I do Edital 16/2017*.

(<https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/bolsas/programas-estrategicos/outras-informacoes/programas-encerrados-estrategicos/programa-capes-ana-pro-recursos-hidricos>).

CARACTERÍSTICAS OBRIGATÓRIAS DAS PROPOSTAS

Os projetos deveriam ser obrigatoriamente multidisciplinares, com o envolvimento de três ou quatro instituições de ensino superior ou centros de pesquisa. O programa disponibilizou R\$ 11.556.000,00, oriundos do orçamento da ANA, para cobrir despesas de custeio, capital e bolsas, sendo o valor máximo por projeto de R\$ 963.000,00. Os recursos para bolsas foram limitados a R\$ 480.000,00; para custeio a R\$ 400.000,00 e os para despesas de capital limitados a R\$ 83.000,00, para cada projeto. Como meta, cada projeto deveria ter a formação de, no mínimo, dois mestres e dois doutores, sendo possível receber até cinco bolsas de mestrado e três de doutorado por projeto. Ainda era possível solicitar até três bolsas de pós-doutorado por projeto. Outros requisitos para apresentação da proposta foram estabelecidos no Edital, bem como as orientações para a análise, julgamento e seleção das propostas e demais informações relacionadas à implementação dos projetos, seu acompanhamento e avaliação.

PROCESSO SELETIVO E PROJETOS SELECIONADOS

Para seleção e acompanhamento dos projetos, o Edital previu a criação de um Comitê Gestor, composto por quatro membros, sendo dois da ANA e dois da CAPES, com atribuições de: i) definir os recursos financeiros a serem concedidos;

ii) emitir decisão sobre a avaliação das propostas; iii) recepcionar e encaminhar para decisão final os recursos interpostos no âmbito da chamada; iv) elaborar a lista de classificação final; v) emitir avaliação final sobre a execução dos projetos apoiados; e vi) resolver os casos omissos e as situações não previstas no Edital. Por parte da ANA foram designados os especialistas em recursos hídricos, Alan Vaz Lopes e Celina Maria Lopes Ferreira para a composição do Comitê Gestor, e, por parte da CAPES, Alice Plakoudi Souto Maior e Priscila Lelis Cagni.

O período de inscrição de propostas teve início no dia 08 de maio de 2017 e finalizou em 13 de julho de 2017, com o recebimento de 87 projetos. O processo de seleção foi realizado em três etapas: primeiramente, a área técnica da CAPES realizou uma análise prévia de cada projeto, quanto aos requisitos estabelecidos no Edital, resultando em 85 propostas aptas a seguirem para a segunda etapa de análise de mérito. Na segunda etapa, as propostas foram analisadas por, no mínimo, dois consultores *ad hoc*, quanto ao mérito e relevância, considerando os 13 critérios de julgamento definidos no Edital. Esse processo perdurou pelos meses de agosto, setembro e outubro de 2017, em virtude, principalmente da dificuldade de se encontrar consultores com disponibilidade para contribuir com a avaliação.

Foi necessário marcar uma reunião presencial com uma comissão *ad hoc* composta por oito pesquisadores, na CAPES, em novembro, para finalizar essa etapa. Como resultado, 53 propostas foram recomendadas com dois pareceres *ad hoc* ou obtiveram “recomendado” e “recomendado condicional” em cada um dos seus pareceres; quatro propostas foram “não recomendadas”; uma não foi avaliada por nenhum consultor e 27 propostas tiveram dois pareceres divergentes e foram encaminhadas a um terceiro consultor.

Na última etapa, correspondente à priorização dos projetos, o Comitê Gestor do programa, estipulou dois critérios de exclusão: i) propostas que tiveram ao menos dois pareceres com avaliação “não recomendado” e; ii) propostas com notas médias abaixo de 7,5 resultantes das avaliações dos consultores *ad hoc*. Como resultado, das 85 propostas, restaram 60 propostas para análise de priorização do Comitê.

Em função do alto número de propostas pré-selecionadas, o Comitê decidiu por um critério adicional de eliminação de propostas: a existência de ao menos

um parecer com avaliação “não recomendado” entre os pareceres emitidos por consultores *ad hoc* para cada proposta, o que resultou na eliminação de mais 12 propostas, restando 48 propostas para ranqueamento. Procedeu-se, então à análise das 48 propostas, observando-se os seguintes critérios: i) recomendação e notas obtidas na avaliação dos consultores *ad hoc*; ii) foco das propostas, caracterizado pela clareza dos objetivos e métodos apresentados; iii) aderência da proposta aos objetivos das linhas temáticas definidas; iv) distribuição temática ‘ótima’, no sentido de se apoiar o máximo de áreas temáticas possível; e v) distribuição geográfica, no sentido de se apoiar propostas de diferentes estados e regiões.

As propostas foram organizadas por linha temática e ranqueadas de acordo com esses critérios. A partir dessa organização, foram selecionadas 12 propostas para serem apoiadas financeiramente, seguindo-se o ranking de cada linha, tendo em vista os recursos financeiros disponíveis. O resultado teve sua publicação no DOU em 18 de janeiro de 2018 (<https://www.gov.br/capes/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/bolsas/programas-estrategicos/outras-informacoes/programas-encerrados-estrategicos/programa-capes-ana-pro-recursos-hidricos>).

Não houve projeto aprovado para as áreas temáticas “Modelagem e arranjos institucionais para gestão de recursos hídricos” e “Regulação de Recursos Hídricos”. Quatro áreas temáticas tiveram dois projetos aprovados (Instrumentos e ferramentas de gestão de recursos hídricos, Governança e participação social na gestão de recursos hídricos, Monitoramento, controle e fiscalização de usos da água, Recursos Hídricos e florestas). A área temática “Instrumentos, metodologias e tecnologias para a alocação de água” englobou três projetos e a de “Segurança de Barragens” apenas um, (Tabela 1).

Os 12 projetos aprovados contaram com 39 coordenadores envolvidos, sendo 12 coordenadores gerais e 27 coordenadores associados, e 29 diferentes instituições de ensino superior e centros de pesquisa. Os trabalhos foram iniciados com 33 bolsas de mestrado, 27 bolsas de doutorado e 21 bolsas de pós-doutorado. O valor total dos projetos chegou a R\$ 10.546.953, sendo R\$ 4.196.768 (40%) para custeio, R\$ 5.421.200 (51%) para bolsas e R\$ 928.985 (9%) em capital. Concluído o processo de seleção, os projetos iniciaram sua execução com a implementação das bolsas e disponibilização dos recursos no primeiro semestre de 2018.

Tabela 1. Informações sobre os projetos aprovados para o Pró-Recursos Hídricos - Edital CAPES/ANA 16/2017 (M = Mestrado; D = Doutorado; PD = Pós-doutorado)

ÁREA TEMÁTICA	TÍTULO DO PROJETO	EQUIPE	COORDENAÇÃO	INSTITUIÇÕES	BOLSAS			TOTAL CUSTEIO (R\$)	TOTAL CAPITAL (R\$)	TOTAL BOLSA (R\$)	TOTAL GERAL (R\$)								
					M	D	PD												
1- Instrumentos e ferramentas de gestão de recursos hídricos	Planejamento estratégico integrado como ferramenta para zoneamento ecológico de bacias hidrográficas	Paulo de Marco Junior	Geral	UFG	0	1	0	399.698,00	82.974,00	283.200,00	765.872,00								
		Ludier Kesser S. Silva	Associada	UFMT	1	0	0												
		Dilermando P. L. Junior	Associada	Unemat	1	1	0												
	Gestão Participativa dos Recursos Hídricos Utilizando Jogos Computacionais e Sistemas Multiagente	Diana F. Adamatti	Geral	FURG	1	1	1					396.600,00	83.000,00	480.000,00	959.600,00				
		Marilton S. de Aguiar	Associada	UFPE	1	1	1												
		Raquel de M. Barbosa	Associada	IFRS	0	0	1												
2- Governança e participação social na gestão de recursos hídricos	Governança dos Recursos Hídricos: análise do perfil e do processo de formação de representantes de Conselhos e Comitês	Alexandre de P. Carrieri	Geral	UFMG	1	2	1	78.380,00	18.402,00	404.400,00	501.182,00								
		Patrícia Campos Borja	Associada	UFBA	1	0	0												
		Marcelo M. L. O. Ribeiro	Associada	USP	1	0	0												
	Recursos Hídricos na Bacia do Paraíba do Sul: integrando aspectos naturais e antrópicos.	Laura de Simone Borma	Geral	INPE	1	1	3					312.200,00	82.916,00	466.800,00	861.916,00				
		Pedro Roberto Jacobi	Associada	USP	2	0	0												
		Maria A. Toniolo	Associada	Univap	0	1	0												
3- Monitoramento, controle e fiscalização de usos da água	Estimativa da Evapotranspiração por sensoriamento remoto para gestão de recursos hídricos no Brasil.	Humberto R. da Rocha	Geral	USP	0	1	2	263.102,00	83.000,00	480.000,00	826.102,00								
		Anderson Luis Ruhoff	Associada	UFRGS	0	1	1												
		Luis E. O. C. Aragão	Associada	INPE	1	0	0												
		Debora Regina Roberti	Associada	UFMS	1	0	0												
	Monitoramento e controle de florações de cianobactérias em sistemas aquáticos tropicais.	Vera Lucia de M. Huszar	Geral	UFRJ	2	1	2					384.530,00	82.905,00	466.800,00	934.235,00				
		Marcelo M. Marinho	Associada	UERJ	1	1	1												
	Ernani Pinto	Associada	USP	0	0	0													
4- Instrumentos, metodologias e tecnologias para alocação de água	Integração de modelos econômicos para apoio à decisão em políticas de alocação de águas.	Márcia M. G. A. Moraes	Geral	UFPE	1	1	1	400.000,00	83.000,00	480.000,00	963.000,00								
		Marcelo P. da Cunha	Associada	Unicamp	1	1	1												
		Ignácio T. de A. Júnior	Associada	UFPA	1	1	1												
	Incorporação de previsões climáticas e hidrológicas na gestão da alocação de água no Rio São Francisco.	Sin ChanChou	Geral	INPE	0	1	1					400.000,00	83.000,00	480.000,00	963.000,00				
		Benedito C. da Silva	Associada	Unifei	1	0	0												
		Luis Henrique Bassoi	Associada	Unesp	1	1	0												
	Rede de pesquisa para a gestão de alto nível dos recursos hídricos na Bacia do Rio Formoso/TO.	Fernán E. V. Figueroa	Geral	UFT	1	1	1									380.500,00	81.000,00	480.000,00	941.500,00
		Conceição M. Albuquerque	Associada	UnB	1	0	0												
		Klaus Reichardt	Associada	USP	0	1	1												
5- Recursos Hídricos e florestas	Rede de pesquisas no Rio Teles Pires: disponibilidade hídrica e sedimentos em cenários ambientais.	Adilson P. de Souza	Geral	UFMT	2	1	2	397.295,00	83.000,00	480.000,00	960.295,00								
		Daniel F. de Carvalho	Associada	UFRRJ	0	1	0												
		Teodorico A. Sobrinho	Associada	UFMS	0	1	0												
	Influência da floresta na dinâmica hidrossedimentológica de bacias montanhosas no sul do Brasil.	Masato Kobiyama	Geral	UFRGS	0	1	0					384.463,00	82.788,00	440.000,00	907.251,00				
		Cláudia W. Conseuil	Associada	UFSC	1	0	0												
		Nilzo Ivo Ladwig	Associada	Unesc	1	0	0												
	Irani dos Santos	Associada	UFPR	1	1	0													
6- Segurança de Barragens	Gestão de barragens de concreto: inspeção, diagnóstico e prognóstico por modelagem numérica.	Marcelo H. F. de Medeiros	Geral	UFPR	3	3	0	400.000,00	83.000,00	480.000,00	963.000,00								
		Lineu José Pedroso	Associada	UnB	1	0	0												
		Maryangela G de Lima	Associada	ITA	1	0	0												
TOTAL					33	27	21	4.196.768,00	928.985,00	5.421.200,00	10.546.953,00								

ACOMPANHAMENTO DOS PROJETOS

O acompanhamento dos projetos pelas áreas técnicas das instituições (ANA e CAPES) e pelo comitê gestor do Pró-Recursos Hídricos ocorreu por meio de seminários, reuniões específicas e relatórios anuais enviados pelos coordenadores de cada projeto. Especificamente, o Edital previa a realização de dois seminários para acompanhamento das atividades: i) um no momento da contratação dos projetos; e ii) outro, após dois anos de execução.

O *1º Seminário de Acompanhamento e Integração do Pró-Recursos Hídricos*, considerado como o início do desenvolvimento dos trabalhos do programa, ocorreu nos dias 26 e 27 de abril de 2018, na sede da CAPES em Brasília, e contou com a participação de todos os coordenadores de projetos, além de servidores da ANA e da CAPES envolvidos com o programa. A ANA apresentou os objetivos do programa, os resultados do processo seletivo, os desafios vislumbrados em cada área temática e as expectativas quanto ao desenvolvimento dos projetos. Na sequência, cada coordenador de projeto apresentou o seu projeto, os respectivos coordenadores, rede de pesquisa e as instituições envolvidas, seus objetivos específicos, a equipe envolvida, metodologias e resultados esperados.

Em seguida, a CAPES informou sobre os sistemas de gestão da CAPES e sobre a prestação de contas dos projetos, com vistas ao melhor gerenciamento de todos os recursos disponibilizados para o Programa.

Para acompanhamento dos projetos pela ANA, foram designados servidores para cada projeto, de acordo com a área técnica de maior afinidade e conhecimento do tema tratado. Esses servidores procuraram ter um contato mais próximo e contínuo com os coordenadores e com as equipes de cada projeto, buscando prover dados e informações, acompanhar o desenvolvimento dos projetos e discutir estratégias e formas de aplicação de seus resultados. Ao todo foram envolvidos dezessete especialistas em recursos hídricos da ANA de cinco diferentes unidades organizacionais (superintendências).

Em 26 de novembro de 2019, foi realizado *workshop* de integração dos projetos do Pró-Recursos Hídricos, no XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, em Foz do Iguaçu/Paraná. Foi realizada uma Reunião Técnica, aberta a todos os participantes do Simpósio, na qual coordenadores e bolsistas envolvi-

dos apresentaram o estágio de desenvolvimento e resultados preliminares de 8 dos 12 projetos do Programa. Nas discussões que seguiram, foram identificados os avanços e as dificuldades em cada projeto, bem como oportunidades de sinergias e interações entre as redes de pesquisa, identificando-se três conexões principais entre os projetos: i) uso de modelos hidrológicos: quase todos os grupos de pesquisa, estavam usando modelos hidrológicos (mais simplificados ou mais complexos, dependendo dos objetivos de cada pesquisa), em diferentes regiões do País, enfrentando problemas parecidos em termos de obtenção de dados, calibração e validação; ii) monitoramento hidrológico: muitos projetos envolviam esforços de monitoramento de dados hidrológicos em campo, e compartilhavam de desafios referentes à logística, mobilização de equipes, aquisição de equipamentos, manutenção de estações de monitoramento, e análise de dados; e iii) avaliação do comportamento de agentes e impactos sociais e econômicos: vários projetos buscavam avaliar o comportamento de grupos econômicos e sociais e os impactos de ações de gestão e regulação de recursos hídricos, com maior ou menor complexidade em cada caso, de acordo com seus objetivos.

Em 2019 e 2020, foram enviados para a ANA os relatórios de execução dos projetos, solicitados aos coordenadores. Em 2020, a CAPES solicitou também a consultores *ad hoc* uma avaliação do andamento dos projetos, como subsídio para o 2º Seminário do Pró-Recursos Hídricos, a partir de um *template* desenvolvido pela área técnica da ANA, em conjunto com a CAPES. Todos esses relatórios foram encaminhados para os especialistas que acompanhavam os projetos na ANA, para que eles também pudessem fazer suas análises, avaliassem a melhor forma de contribuir com o sucesso do projeto e para que identificassem produtos de interesse da ANA e do SINGREH.

Em 2020, com o início da pandemia de COVID-19, houve muitas interrupções de atividades de campo e de pesquisa e severas dificuldades de desenvolvimento dos projetos, que persistiram no ano de 2021. O temor do impacto da pandemia, no resultado nos projetos, foi mencionado no 2º Seminário do Pró-Recursos Hídricos, realizado nos dias 26 e 27 de agosto de 2020, por meio de videoconferência, pela *Plataforma Teams* da ANA. Os vídeos dos dois dias de encontro estão no canal da ANA no YouTube, (<https://www.gov.br/ana/pt-br/>

assuntos/noticias-e-eventos/noticias/pesquisadores-compartilham-experiencias-dos-projetos-participantes-do-pro-recursos-hidricos).

A partir da análise dos resultados apresentados no 2º Seminário, percebeu-se a necessidade de uma avaliação mais individualizada de cada projeto, comparando-se o que estava previsto no plano de trabalho, o que já tinha sido executado e o que efetivamente seria possível finalizar nos últimos meses do Programa. A CAPES fez um levantamento dos recursos que estavam disponíveis nas contas dos coordenadores, bem como das bolsas ainda não implementadas e propôs uma rodada de conversas com os coordenadores de cada projeto, individualmente. As reuniões foram realizadas de 14 de maio a 23 de junho de 2021, sempre com a participação da equipe técnica da ANA e da CAPES, além dos coordenadores do projeto e os especialistas da ANA envolvidos no acompanhamento.

Após as reuniões, a CAPES enviou para todos os coordenadores de projetos, um registro do que havia sido conversado, solicitando que eles enviassem um relatório indicando a situação dos trabalhos e, propondo, se necessário, a readequação do plano de trabalho, com as solicitações relativas ao remanejamento de recursos, de modalidades de bolsa e outras que julgassem importantes para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e alcance das metas do projeto.

Todas as solicitações foram analisadas pela área técnica responsável pelo processo do Pró-Recursos Hídricos na ANA (CCAPS/SAS/ANA), em conjunto com os especialistas das outras unidades organizacionais responsáveis pelo acompanhamento dos projetos. Após a análise das solicitações, a ANA respondeu os coordenadores e informou a CAPES o que considerava pertinente aprovar para que eles pudessem viabilizar os trâmites internos para atendimento dos pleitos deferidos. A maioria das demandas pôde ser atendida.

Uma das principais dificuldades enfrentadas pelos Coordenadores ao longo dos projetos foi a impossibilidade de realizar as atividades de visita a campo, coleta de dados e utilização dos laboratórios durante a pandemia de Covid-19. Motivo pelo qual, para o cumprimento das metas e utilização dos recursos orçamentários, foi solicitada a prorrogação da vigência dos projetos. A prorrogação foi considerada pertinente, pela ANA e pela CAPES, de forma que o prazo de vigência dos projetos foi estendido de novembro de 2022 para outubro de 2023. Nessas reuniões, provocados pela ANA, os coordenadores se manifestaram fa-

voravelmente à elaboração de uma publicação que compilasse os resultados de todos os projetos.

O Edital 16/2017 previu a realização de um seminário final para avaliação dos resultados. A ANA e a CAPES convocaram uma reunião, por videoconferência, para as tratativas com os coordenadores gerais dos projetos do Pró-Recursos Hídricos para esse seminário. Além disso, a pauta também incluía o tema de envio dos produtos à ANA e a publicação dos resultados. A reunião ocorreu em 14 de abril de 2023. Na ocasião, foi proposto pela ANA que um dos coordenadores de projeto assumisse a responsabilidade de coordenar também o processo de elaboração da publicação, o que incluía algumas tarefas, como a de elaboração do template, a definição de prazos para as tarefas, a comunicação com os coordenadores, a relação com a empresa e os profissionais que viabilizariam a publicação. O Professor Dr. Teodorico Alves Sobrinho manifestou interesse em ser o organizador da publicação e, em conjunto com o Comitê Gestor da ANA, assumiu esse trabalho.

A execução financeira de 95% desses recursos com a formação de 64 mestres, 52 doutores e 39 treinamentos em pós-doutorado, evidenciam o bom funcionamento da parceria entre a ANA e a CAPES, o grande comprometimento dos envolvidos no processo e os significativos resultados do programa.

Incorporação de previsões climáticas e hidrológicas na gestão da alocação de água no rio São Francisco

Sin Chan Chou

Benedito Claudio da Silva

Luís Henrique Bassoi

Alison Matheus Oliveira Silva

Arthur Telles Calegario

Camila Coelho Welerson

Claudine Pereira Dereczynski

Daniel Andrés Rodriguez

Eliseu Oliveira Afonso

Gabriel de Oliveira Machado

Hugo Hinostroza Farfán

Jorge Luís Gomes

Lineu Neiva Rodrigues

Lisandro Lovisolo

Michel Pompeu Tcheou

Nicole Costa Resende Ferreira

Nicole Cristine Laureanti

Priscila da Silva Tavares

Roberto Leo dos Santos Baltazar

Saulo Aires de Souza

O projeto teve por objetivo desenvolver um sistema de previsão meteorológica-hidrológica-alocação de água, para dois horizontes temporais, subsazonal e sazonal, de forma a promover uma gestão que inclua a previsão da variabilidade climática e seus efeitos sobre a disponibilidade hídrica da bacia do rio São Francisco. O sistema contou com os modelos: regional climático Eta, hidrológicos MGB-IPH e SMAP, e de alocação/demanda de água WEAP e MSEI, e foi desenvolvido como protótipo para alocação de água nas sub-bacias dos rios Paracatu e Verde Grande. Os resultados mostram que o acoplamento dos modelos é um desafio complexo, mas com significativo potencial como ferramenta de apoio nos processos de alocação de água. As previsões vazão apresentaram bons resultados para algumas condições, e com possibilidade de serem aprimoradas. O Modelo WEAP demonstrou ser boa opção para simular a alocação de água, pela flexibilidade e capacidade para assimilar as previsões numéricas. O projeto apoiou a formação de 8 alunos de iniciação científica, 4 mestres, 2 doutores, além de 5 pós-doutores. O grupo é interdisciplinar com especialistas em clima, hidrologia e agricultura. A produção da equipe é de 11 artigos em revistas científicas com corpo editorial e de 13 trabalhos em eventos científicos.

Palavras-chave: Modelo climático Eta; Modelo hidrológico MGB-IPH, Modelos de demanda de água; horizonte sazonal e subsazonal; conflito uso da água.

A bacia do Rio São Francisco permite múltiplos usos das águas, tais como: hidroeletricidade, agricultura, navegação, pesca e aquicultura, abastecimento humano e industrial, controle de cheias, recreação e turismo, entre outros. Entretanto, a grande variação na disponibilidade hídrica, ao longo da bacia e ao longo das estações do ano, dificulta a tomada de decisão quanto à definição de prioridades na alocação do uso da água. A variação na disponibilidade hídrica ocorre devido a diversos fatores, principalmente aqueles relacionados com a variabilidade climática, caracterizados por anos extremos chuvosos e secos. Outros fatores a afetar a disponibilidade hídrica da bacia são, por exemplo: 1) expansão da agricultura irrigada; 2) transposição de vazões 3) aumento da demanda de água para consumo humano e industrial; 4) aumento da demanda para geração de hidroeletricidade; 5) alterações no uso e ocupação do solo, e 6) expansão da mineração.

Conflitos potenciais na bacia entre o setor energético e o setor agrícola têm sido alertados, e se tornaram corriqueiros, como é o caso da alocação de água do reservatório de Sobradinho para geração de energia e para a prática da irrigação. A situação foi agravada também nos anos de 2012 a 2019 com precipitação abaixo dos níveis normais na bacia.

Conflitos no Alto, Médio e Submédio São Francisco ocorrem devido à expansão desordenada da irrigação. As principais áreas com conflitos de grande relevância acontecem nas sub-bacias dos rios Paraopeba, das Velhas, Alto Preto e Alto Grande. De forma geral, esses conflitos envolvem a agricultura irrigada, a geração de energia (instalação das barragens e operação de reservatórios), o uso da água para o abastecimento humano, a diluição de efluentes urbanos, industriais e da mineração e a manutenção dos ecossistemas (MASCARENHAS, 2008).

Na região do Alto São Francisco, nas sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, a ocorrência de conflitos origina-se na mineração e na alta concentração populacional e os impactos dessas atividades sobre os recursos naturais, sendo a diluição de efluentes concorrentes com outros usos mais nobres, como o abastecimento de água, a piscicultura e o lazer. Por sua vez, a mineração de ouro na região do Paracatu exerce forte pressão sobre a bacia, e o transporte de sedimentos influencia na qualidade da água e contribui para o assoreamento. No semiárido, a pressão sobre os recursos hídricos decorre da sua escassez absoluta, frequentemente agravada pelo fenômeno das secas, com grandes conflitos de usos potencializados pelas condições hidrológicas e baixos níveis de tratamento de esgotos urbanos e industriais que contaminam corpos de água (SANTOS, 2007).

A susceptibilidade da região à ocorrência de extremos climáticos requer constante monitoramento dos níveis de água da bacia e maior cuidado na alocação da água. Conflitos ocorrem com maior intensidade em eventos de extremos climáticos, especificamente nos períodos de secas. A antecipação dos extremos climáticos dentro de um horizonte que permita a tomada de decisão sobre a alocação adequada dos recursos hídricos pode auxiliar na otimização do uso d'água e, também, minimizar conflitos na disputa desse recurso natural.

A antecipação pode ser buscada a partir de modelos numéricos produzindo informações nos horizontes subsazonais (30 a 60 dias) a sazonais (3 a 6 meses). Vale comentar que modelos numéricos utilizam as relações matemáticas dos processos climáticos, hidrológicos e demandas de água para simular com antecipação os eventos críticos de excesso ou déficit hídrico. O desencadear de modelos, desde o climático até o modelo de demandas, passando pelo hidrológico, permite obter um produto mais próximo da necessidade do usuário final, que pode ser um gestor ou comitê de bacias. Por outro lado, todo modelo possui simplificações e erros, o que requer etapas de calibração e de validação, além de um constante aperfeiçoamento.

O projeto enquadrado na Linha de Pesquisa 6, “Instrumentos, metodologias e tecnologias para alocação de água”. Nessa linha de pesquisa, o projeto é composto por quatro áreas temáticas: 1) modelagem climática subsazonal e sazonal (50 dias e 3 meses); 2) modelagem hidrológica para estimativa da vazão (subsa-

zonal e sazonal) para a bacia do Rio São Francisco; 3) modelagem da alocação ideal dos recursos hídricos, considerando-se a disponibilidade hídrica em diferentes áreas da bacia e em distintas épocas do ano; e 4) avaliação da gestão dos recursos hídricos. É clara a sinergia entre os temas, ou entre os grupos de pesquisa, uma vez que as atividades relacionadas são especialidades dos grupos do INPE, da UNIFEI e da UNESP/Embrapa, e da ANA, respectivamente. Os temas integrados formam uma metodologia inovadora e convergem na proposta de melhoria na gestão dos recursos hídricos. O projeto desenhado para a bacia do rio São Francisco serve de protótipo para emprego em outras bacias hidrográficas em que se identifique alta variabilidade climática e conflito no uso da água.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de previsão meteorológica-hidrológica-alocação de água, para dois horizontes temporais, 50 dias e 3 meses, de forma a promover uma gestão que inclua a previsão da variabilidade climática e seus efeitos sobre a disponibilidade hídrica da bacia do Rio São Francisco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Disponibilizar um conjunto de série histórica de previsões climáticas (chuva, temperatura, vento, umidade relativa, radiação solar etc.) nos horizontes sazonal (cerca de 3 meses) e subsazonal (cerca de 50 dias), na resolução de cerca de 20 km, em área cobrindo todo o território do país.
- ii. Gerar previsões por conjunto para prover a probabilidade de ocorrência de um determinado evento climático.
- iii. Investigar o desempenho das previsões de eventos de extremos climáticos na região da bacia do Rio São Francisco. Considerando que a região é associada à baixa previsibilidade climática, serão investigados os eventos ou ocasiões em que a previsibilidade aumenta, esses serão

os momentos que se poderá utilizar as previsões com maior confiança.

- iv. Investigar e aplicar metodologias de correção de viés nas previsões sazonal e subsazonal.
- v. Gerar histórico de previsões hidrológicas em horizonte sazonal e subsazonal, a partir de simulações com o modelo hidrológico MGB e alimentado pelas previsões climáticas do modelo Eta.
- vi. Aprimorar o ajuste do modelo hidrológico MGB à bacia do rio São Francisco, com base na revisão dos atributos fisiográficos relacionados à parametrização do modelo.
- vii. Avaliar e ajustar o modelo WEAP para alocação de água na bacia do Rio São Francisco, a partir da avaliação da disponibilidade hídrica em escala sazonal e subsazonal.
- viii. Avaliar o desempenho das previsões climáticas no horizonte sazonal e sua aplicabilidade na estimativa da demanda de irrigação na bacia hidrográfica do rio Paracatu.
- ix. Analisar as decisões acerca da alocação do uso da água, a partir do sistema WEAP simulado com as saídas do modelo MGB.
- x. Investigar propostas de gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio São Francisco, a partir da avaliação da disponibilidade hídrica e da alocação do uso da água.
- xi. Desenvolver uma ferramenta de apoio na tomada de decisão quanto à alocação do uso da água na plataforma GIS.

IMPACTOS

AVANÇO DO ESTADO DA ARTE NA ÁREA DO CONHECIMENTO DA LINHA DE PESQUISA

A previsão no horizonte subsazonal segue em desenvolvimento nos principais centros meteorológicos mundiais (VITART *et al.*, 2017). Entretanto, ainda não há consenso sobre a melhor forma de produzir essas previsões. Os modelos dos centros mundiais apresentam desempenhos semelhantes, melhor em baixas

latitudes e fraco desempenho em latitudes subtropicais, onde se localiza o Alto São Francisco. Portanto, neste projeto, como contribuição, buscou-se identificar o desempenho das previsões do modelo atmosférico regional Eta do INPE, no horizonte sazonal para o rio São Francisco.

Para os horizontes sazonal e subsazonal, os modelos hidrológicos de previsão dependem fortemente das previsões dos modelos atmosféricos, uma vez que a condição inicial da bacia não tem influência para tempos tão longos. Apesar disso, a escolha do modelo e o ajuste adequado à cada bacia é fundamental para obtenção de bons resultados. Convém frisar que modelos hidrológicos do tipo distribuído são importantes em bacias com grandes variações nas características físicas e climáticas, como no caso do São Francisco, mas em bacias pequenas e com escassez de dados os modelos concentrados podem ser mais indicados, por terem uma estrutura mais simples.

O grande avanço nos anos recentes, em relação à modelagem hidrológica, se deu na melhora da disponibilização de dados de entrada dos modelos, como a chuva estimada por satélites, ampliação das estações hidrológicas telemétricas e o mapeamento mais preciso e atual do uso e da cobertura do solo. A melhora nos dados de entrada gera, como consequência, resultados melhores nas simulações e previsões de vazões, sendo esse o foco do projeto, em termos de modelagem hidrológica.

Modelos matemáticos de alocação de água que permitam inserir as regras acordadas nas alocações negociadas constituem ferramentas facilitadoras para avaliação e verificação de cenários de usos da água, seja sob o ponto de vista da demanda ou da oferta. No Brasil, o modelo ACQUANET tem sido utilizado em algumas aplicações, mas a falta de atualizações de documentação dificulta sua aplicação. Um modelo mais completo e que também já foi aplicado em diferentes bacias brasileiras é o WEAP. Esse modelo permite simular sistemas de recursos hídricos envolvendo reservatórios e diferentes demandas de água, além de ter componentes para simulação hidrológica e de culturas agrícolas. Integrar os diferentes modelos das áreas de meteorologia, hidrologia e gestão é o grande desafio interdisciplinar, para o qual esse trabalho buscou realizar algumas contribuições, por meio da avaliação de aplicações para a bacia do rio São Francisco e seus afluentes.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

O projeto apoiou diretamente a formação de 4 mestres, 2 alunos de doutorado com tese em andamento, 8 alunos em programas de iniciação ou trabalhos finais de graduação, sendo uma em andamento, e 5 pós-doutores. Em relação à produção científica, foram 7 artigos científicos publicados, 2 manuscritos submetidos e 2 em preparo, produção de 1 livro além de 13 outros produtos, eventos e ações relacionadas ao projeto.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO PROJETO

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

HUGO HINOSTROZA FARFÁN. *Filtros adaptativos no domínio da frequência para correção de previsão climática da temperatura da superfície do Mar Global.* UERJ.

BEATRIZ SOARES RANKE. *Avaliação de previsões climáticas no horizonte sazonal na estimativa da demanda de irrigação na bacia hidrográfica do Rio Paracatu.* UFV.

CAMILA COELHO WELERSON. *Previsões sazonais de vazão para o rio São Francisco com base em previsões numéricas de precipitação.* UNIFEI.

<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2163>

GABRIEL DE OLIVEIRA MACHADO. *Previsão sub-sazonal de vazão para o rio Paracatu.* UNIFEI.

<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2314>

DOCTORADO

NICOLE CRISTINE LAUREANTI. *Caracterização de eventos extremos da ZCAS observação e simulação a partir de um modelo acoplado oceano-atmosfera de alta resolução.* INPE.

ELISEU OLIVEIRA AFONSO. *Clima regional no entorno do lago de Sobradinho a partir de simulações numéricas com modelo de FLake acoplado ao modelo Eta.* INPE.

PÓS-DOCTORADOS

DIEGO DE ANDRADE CAMPOS (INPE)

NICOLE COSTA RESENDE FERREIRA (INPE)

ARTHUR TELLES CALEGARIO (UNESP)

BRUNO RICARDO SILVA COSTA (UNESP)

SAMEH ADIB ABOU RAFEE (UNIFEI).

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

MARIA LUÍSA DA ROCHA SANTOS. Avaliação das Simulações Subsazonais de Precipitação do Modelo Eta na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Bolsa CNPq PIBIC/INPE. TCC em Meteorologia. 2022.

<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/20776>.

ROBERTO LEO DOS SANTOS BALTAZAR. Desempenho das Previsões Sazonais do Modelo Eta Aninhado ao Modelo BESM do INPE. Bolsa CNPq PIBIC/INPE.

IAGO DE CARVALHO MELLO. Simulação Hidrológica da Bacia do Rio São Francisco. Iniciação Científica, UNIFEI, bolsa CNPq, 2021/2022.

https://drive.google.com/file/d/1ucGPwllZ1tFWiGDCjXwZj1hGENK8gqvw/view?usp=drive_link.

ALISON MATHEUS OLIVEIRA SILVA. Simulação de cenários de alocação de água para a bacia do rio São Francisco. UNIFEI, bolsa PIBIC UNIFEI, 2021/2022.

https://drive.google.com/file/d/1JQxe11nZNhKJau2beUPBUjr1WMD3vZcY/view?usp=drive_link.

GABRIEL FRANCISCO DO ESPÍRITO SANTO GARCIA. Ajuste do modelo SMAP para geração de vazões afluentes ao reservatório Bico da Pedra. Iniciação Científica, UNIFEI, bolsa FAPEMIG, 2021/2022.

<https://drive.google.com/file/d/1jUV1pr1fyVXMjB2mJzfVWhB8OVvFJZlx/view?usp=sharing>.

PEDRO DE SOUZA LEITE. Operação do reservatório Bico da Pedra (MG) a partir de previsões sazonais de chuva e vazão. Iniciação Científica, UNIFEI, bolsa FAPEMIG, 2022/2023.

DANIELA MACIEL DOS SANTOS. Previsões Operacionais de Vazão em Horizonte Sazonal para a Bacia do Rio São Francisco. Iniciação Científica, UNIFEI, bolsa PIBIC UNIFEI, 2022/2023.

ALISON MATEUS OLIVEIRA SILVA. Análise da alocação de água em um sistema hídrico com base em simulação dinâmica por Monte Carlo: estudo de caso do reservatório Bico da Pedra. TCC para Graduação em Engenharia Hídrica, UNIFEI. 2023.

PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

MACHADO, G. O.; SILVA, B. C.; CHOU, S. C.; FERREIRA, N. C. R. Análise de previsões subsazonais de vazão para uma bacia hidrográfica do Bioma Cerrado, Brasil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.2, p.247-265, 2022. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0022.

FARFÁN, H. H.; TCHEOU, M. P.; LOVISOLO, L.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; NOBRE, P. Correção de viés em previsão climática global de temperatura da superfície do mar por meio de filtros adaptativos no domínio da frequência. Submetido à RBClimate.

LAUREANTI, N. C.; CHOU, S. C.; NOBRE, P.; CURCHITSER, E. *The influence of SACZ and the underlying SST on the extreme precipitation events over Central-East Brazil*. Submetido à Dyn. Atmospheres Oceans.

FERREIRA, N. C. R.; CHOU, S. C.; DERECZYNSKI, C.; SANTOS, M. L. DA R. *5-yr mean Subseasonal simulations in the SFB*. Submetido à Atmosphere.

SANTOS, M. L. DA R.; FERREIRA, N.; CHOU, S. C.; DERECZYNSKI, C.; CERQUEIRA, F.; SATYAMURTI, P. *Evaluation of precipitation simulations at subseasonal scale in the Sao Francisco River Basin, Brazil*. Anuário do Instituto de Geociências.

AFONSO, E.; CHOU, S. C. *Climate variability around the Sobradinho Lake*. Submetido à Climate.

CAMPOS, D. DE A. *Inclusion of the radiative effect of deep convective clouds in the Eta model simulations*. Submetido à Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society

CHOU, S. C.; DERECZYNSKI, C. P.; GOMES, J. L.; PESQUERO, L. F.; ÁVILA, A. M. H.; RESENDE, N. C.; ALVES, L. F.; RUIZ-CÁRDENAS, R.; SOUZA, C. R.; BUSTAMANTE, J. F. F. 2020A. *Ten-year hindcasts of Eta seasonal forecasts*. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* (2020) 92(3): e20181242 DOI 10.1590/0001-3765202020181242.

DU, Y.; OLSSON, J.; ISBERG, K.; STRÖMQVIST, J.; HUNDECHA, Y.; SILVA B. C.; RAFEE, S. A.; FRAGOSO JR., C. R.; BELDRING, S.; HANSEN, A.; UVO, C. B.; SÖRENSEN, J. *Application-based Evaluation of Multi-basin Hydrological Models*. Submetido.

WELERSON, C. C.; SILVA, B. C.; CHOU, S. C. *Assessment of ensemble seasonal flow forecast to São Francisco River Basin*.

CALEGARI A.; RODRIGUES L.; COSTA, B. R. S.; SILVA, B. C.; BASSOI, L. H.; CHOU, S. C. *Seasonal forecasts of potential corn crop planting areas in Paracatu river, Brazil*.

LIVRO

GOMES J. L.; CHOU S. C.; MESINGER F.; LYRA A. A.; ET AL. 2023: **Manual do Modelo Eta** - versão 1.4.2. pp132. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP. <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/48G6PU5>.

OUTROS PRODUTOS, EVENTOS, AÇÕES RELACIONADAS AO PROJETO

LAUREANTI, N. C.; CHOU, S. C.; TAVARES, P.; BALTAZAR, R. L. S.; NOBRE, P. Caracterização de extremos de precipitação na Bacia do São Francisco. *In: IV Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2022*, Belo Horizonte/MG. Anais do IV Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - SBHSF, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/ivsbhsf/509056-caracterizacao-de-extremos-de-precipitacao-na-bacia-do-sao-francisco>.

BALTAZAR, R. L.; CHOU, S. C.; DEREZYNSKI, C.; GOMES, J. L. 2022: Desempenho das Previsões Climáticas Sazonais do Modelo Eta Aninhado ao Modelo BESM do INPE. Belo Horizonte/MG. **Anais do IV Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - SBHSF, 2022**. Disponível em: <http://www.even3.com.br/Anais/IVSBHSF/509904-desempenho-das-previsoes-climaticas-sazonais-do-modelo-eta-aninhado-ao-modelo-besm-do-inpe>.

CHOU, S. C.; ET AL. Previsões climáticas e hidrológicas nos horizontes sazonal e subsazonal visando orientar a gestão da alocação de água na bacia do rio São Francisco. *In: Anais XXIV Encontro Nacional dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Anais... Foz do Iguaçu (PR), 2022*. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encob2022/508963-previsoes-climaticas-e-hidrologicas-nos-horizontes-sazonal-e-subsazonal-visando-orientar-a-gestao-da-alocacao-de/>

DA SILVA, M. L. R. S.; SATYAMURTI, P.; CHOU, S. C.; RESENDE, N.; DEREZYNSKI, C. 2020: Avaliação das Previsões Subsazonais do Modelo Eta na Detecção do Início da Estação Chuvosa. *In: Livro de Resumo. SICINPE 2020*. São José dos Campos, SP. Disponível em: http://www.inpe.br/bolsas/arquivos/Livro_Resumos_SICINPE_2020.pdf.

DA SILVA, M. L. R. S.; SATYAMURTI, P.; CHOU, S. C.; RESENDE, N.; DEREZYNSKI, C. 2019: Avaliação das Previsões Subsazonais do Modelo Eta na Detecção do Início da Estação Chuvosa. *In: Livro de Resumo. SICINPE 2019*. São José dos Campos, SP. Disponível em: www.inpe.br/bolsas/arquivos/Livro_de_Resumos_SICINPE_2019_versao_final.pdf.

BALTAZAR, R. L. S.; CHOU, S. C.; DEREZYNSKI, C. 2021: Desempenho das Previsões Sazonais do Modelo Eta Aninhado ao Modelo BESM do INPE. *In: Livro de Resumo. SICINPE 2021*. São José dos Campos, SP. Disponível em: http://www.inpe.br/bolsas/arquivos/Livro_Resumos_SICINPE_2021.pdf.

BALTAZAR, R. L. S.; CHOU, S. C.; DERECZYNSKI, C. 2022: Desempenho das Previsões Sazonais do Modelo Eta Aninhado ao Modelo BESM do INPE. *In: Livro de Resumo. SICINPE 2022.* São José dos Campos, SP. Disponível em: http://www.inpe.br/bolsas/arquivos/Livro_Resumos_SICINPE_2022.pdf.

WELERSON, C. C.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, B. C. Previsões sazonais de vazão para Três Marias com base na integração de modelos atmosférico e hidrológico. *In: III Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2020*, Belo Horizonte: Even3, 2020. Disponível em: www.even3.com.br/Anais/IIISBHSF/291014-previsoes-sazonais-de-vazao-para-tres-marias-com-base-na-integracao-de-modelos-atmosferico-e-hidrologico.

SILVA, A. M. O.; SILVA, B. C. Estimativa de vazões afluentes ao reservatório Bico da Pedra (MG) a partir do balanço hídrico e utilizando o modelo WEAP. *In: XXIV ENCOB 2022 - Encontro Nacional dos Comitês de Bacias Hidrográficas, 2022, Foz do Iguaçu:* Even3, 2022. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1w4WKf36Q3YGsWFcfjZ_OSbmhDCpdjWkq/view?usp=sharing.

SILVA A. M. O.; SILVA, B. C. Simulação da operação do reservatório Bico da Pedra utilizando o modelo WEAP. *In: IV Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Belo Horizonte:* Even3, 2022. Disponível em: <https://sbhsf.com.br/wp-content/uploads/2022/08/programação-temas-salas-autores.pdf>.

MELLO, I. C.; SILVA, B. C. “Simulação Hidrológica da Bacia do Rio São Francisco”. *In: IV Simpósio de Iniciação Científica UNIFEI 2022.* Itajubá, DPI, 2022. Disponível em: <https://youtu.be/p00XHK9Gc3w>.

SILVA, A. M. O.; SILVA, B. C. Simulação de cenários de alocação de água para a bacia do rio São Francisco. *In: IV Simpósio de Iniciação Científica UNIFEI 2022.* Itajubá, DPI, 2022. <https://youtu.be/wARt2YKQuNs>.

GARCIA, G. F. DO E. S.; SILVA, B. C. Ajuste do modelo SMAP para geração de vazões afluentes ao reservatório Bico da Pedra. *In: IV Simpósio de Iniciação Científica UNIFEI 2022.* Itajubá, 2022. https://youtu.be/_5kKmnCoBmQ.

AVANÇO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO

A gestão dos recursos hídricos na bacia do rio São Francisco sempre foi um grande desafio, dada a complexidade de seu território, tanto em termos de aspectos físicos como também socioeconômicos. Atualmente, a alocação no curso principal do São Francisco tem sido feita por meio de regras operativas de defluência dos reservatórios de geração hidrelétrica, conforme estabelecido na

Resolução ANA nº 2.081/2017, além do uso de instrumentos, como os Marcos Regulatórios, aplicado pela ANA para diversos sistemas hídricos da bacia, e, por meio dos quais, são acordadas alocações de água para períodos anuais.

Os resultados desse projeto têm potencial para contribuir no aperfeiçoamento desses instrumentos de alocação, conforme relatado em sequência, com a descrição das principais contribuições do projeto. Inicialmente, são relatados os estudos observacionais, identificando os anos de extremos de precipitação, principalmente os anos de seca e os impactos observados na hidrologia e na demanda no uso da água. Em seguida, as modelagens desenvolvidas e avaliações realizadas. Por fim, são discutidas estratégias de gestão baseadas nas informações produzidas.

DIAGNÓSTICOS DOS EXTREMOS

A atividade de alocação de água é dificultada, principalmente em períodos de escassez hídrica diante de alta demanda hídrica. Portanto, simplificada-mente, situações de conflito ocorrem quando:

$$\textit{Precipitação} - \textit{Evapotranspiração} - \textit{vazão} \leq \textit{vazão de referência}$$

Uma análise de eventos passados é descrita a seguir, abordando do ponto de vista meteorológico e hidrológico, dos extremos de escassez na bacia do rio São Francisco.

1. METEOROLÓGICOS

Eventos extremos de escassez de chuva constituem um dos fatores da escassez hídrica. Também a análise dos extremos de anomalias negativas de chuva é enfatizada. A Figura 1 mostra a anomalia padronizada da precipitação acumulada do ano hidrológico (de outubro a setembro) na bacia do rio São Francisco de 2001 a 2022, baseada em um conjunto de 11 diferentes fontes de dados : CHIRPS (FUNK *et al.*, 2015), CMAP (XIE *et al.*, 2003), CPC (XIE *et al.*, 2007), CRU (HARRIS *et al.*, 2020), GPCP (ADLER *et al.*, 2012), MERGE

(ROZANTE *et al.*, 2010), MSWEP (BECK *et al.*, 2019), PERSIANN (ASHOURI *et al.*, 2015), PREC/L (CHEN *et al.*, 2002), Terraclimate (ABATZOGLOU *et al.*, 2018) e XAVIER *et al.* (2022). Nota-se que, mesmo sendo dados observacionais, há discrepâncias entre eles. Entretanto, o emprego do grande conjunto de diferentes fontes de dados dá maior confiança sobre a anomalia da precipitação de cada ano.

Dessa forma, destacam-se os anos hidrológicos muito secos, isto é, em que a maioria do conjunto de dados excede 1 desvio padrão: 2015-2016, 2016-2017 e 2020-2021, enquanto os anos hidrológicos de 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, e 2017-2018 podem ser considerados secos, porque a maioria dos dados apresenta desvio padrão entre -0.5 e -1.0. Assim, o período de 2012 a 2019 representa um longo período de anos consecutivos de secas, o que causa enormes dificuldades para atender a demanda hídrica de diversos setores econômicos e sociais. Entre os anos muito secos, 2016 esteve sob a predominância do evento El Niño, enquanto 2017 e 2021 estavam sob La Niña. Portanto, os anos hidrológicos secos ocorreram tanto sob anos de El Niño, de La Niña ou neutros. Isso mostra que os eventos de seca na bacia não são diretamente relacionados com as fases do fenômeno ENSO.

Os anos hidrológicos de 2003-2004, 2008-2009, 2010-2011 e 2021-2022 são considerados muito chuvosos, enquanto os anos 2001-2002, 2004-2005, 2005-2006 e 2019-2020 são considerados chuvosos porque a maioria dos dados apresenta anomalias com desvio padrão entre 0.5 e 1.0. A identificação dos anos de extremos de chuva, a partir de diferentes fontes de dados, proporciona confiabilidade e certeza nessa caracterização.

Claramente, a primeira metade da série de dados da Figura 1 apresentou mais anos chuvosos, enquanto a segunda metade apresentou vários anos consecutivos secos. A média climatológica da precipitação, considerando toda a bacia, é de 900mm. Em anos chuvosos, os totais anuais chegaram a 1200 mm. Enquanto, em anos hidrológicos secos, os totais anuais acumularam em cerca de 700 mm. A série de chuva da estação meteorológica do Lago de Sobradinho, que representa o baixo São Francisco, indicou os mesmos anos secos e chuvosos (AFONSO *et al.*, 2023), o que mostra que foram eventos de grande abrangência e não restritos à parte alta do rio.

Os eventos extremos de precipitação acumulados em uma estação na bacia do rio São Francisco são, em grande parte, associados às variações na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Essa é uma banda de nebulosidade e de chuva que se estende do sul da Amazônia até o litoral do Sudeste Brasileiro e que está presente durante o verão austral. Neste projeto, os eventos extremos foram agrupados em extremos chuvosos e extremos secos e comparados com os extremos da ZCAS. Mostrou-se que as condições de extrema seca no Sudeste estavam associadas a ZCAS posicionada mais ao sul ou simplesmente inativa. Nesses eventos de seca, há circulação de ar descendente sobre a região que inibe a formação de nuvens profundas, mas favorece águas mais quentes no Atlântico próximo ao Sudeste, o oposto é observado em anos chuvosos quando há águas mais frias nessa região do Atlântico (LAURENTI *et al.*, 2023).

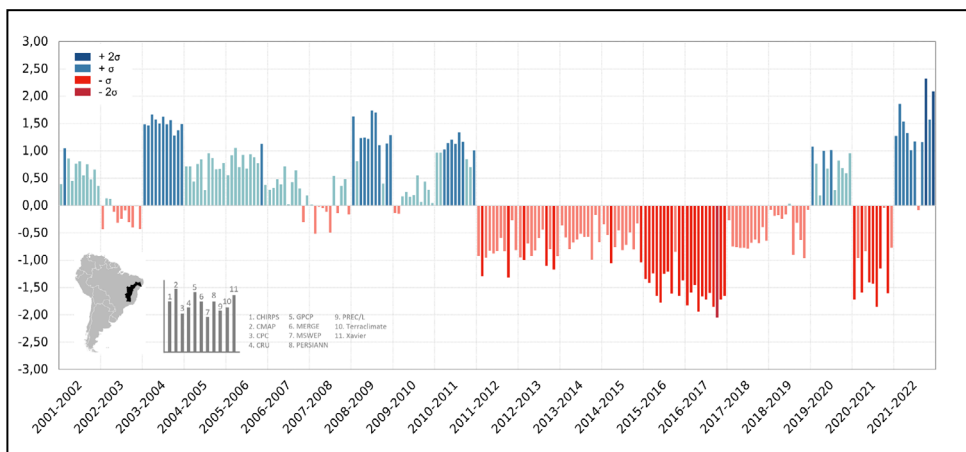


Figura 1. Anomalia padronizada da precipitação anual na bacia do rio São Francisco do período de 2001 a 2022, baseada em 11 fontes de dados: CHIRPS, CMAP, CPC, CRU, GPCP, MERGE, MSWEP, PERSIANN, PREC/L, Terraclimate e Xavier. Anomalias negativas estão indicadas em vermelho e as positivas em azul. Os tons mais intensos correspondem a anos extremos secos ou extremos chuvosos, quando excedem 1 desvio padrão.

II. HIDROLÓGICOS

O comportamento observado na chuva é refletido diretamente nas vazões dos rios e, muitas vezes, com maior severidade. A Figura 2 mostra as vazões médias anuais em duas estações hidrológicas do curso principal do rio São Francisco, sendo Porto das Andorinhas, na parte alta da bacia, a montante da usina de Três Marias e Morpará, no trecho baixo da bacia, imediatamente acima da usina de Sobradinho. Os valores de vazão foram adimensionalizados pela média de longo termo, para fins de comparação. Nota-se o comportamento muito similar nas duas séries, sendo que, em Morpará, as variações são levemente menores devido à maior escala da bacia, e pelo efeito da regularização da usina de Três Marias. O impacto da redução das chuvas, a partir de 2012, é claramente percebido em ambas as séries de vazões.

Na Figura 3, os mesmos dados são apresentados para dois importantes afluentes do São Francisco, o Paracatu e o Verde Grande. Novamente o comportamento das séries temporais são semelhantes, apesar de o Verde Grande apresentar maior variabilidade, resultado de suas características de solos pouco profundos e presença de importantes áreas de aquífero cárstico na bacia. Em ambas as bacias também são perceptíveis as vazões abaixo da média, no período pós 2012, sendo que, no caso do Verde Grande, notam-se vazões sistematicamente baixas, desde 1994, talvez agravada pela retirada de água para consumo com irrigação e abastecimento humano.

Esses dados indicam que a bacia do São Francisco está sujeita a eventos extremos de seca que podem abranger toda a bacia, exigindo que medidas de gestão sejam adotadas para enfrentar situações de conflito de diferentes escalas e complexidades. Com o período de seca iniciado em 2012, foram propostas e testadas metodologias de alocação na bacia, que continuam sendo aplicadas e aprimoradas, indicando que a incorporação de previsões meteorológicas e hidrológicas é uma medida com potencial para impactar positivamente na gestão dos recursos hídricos da bacia.

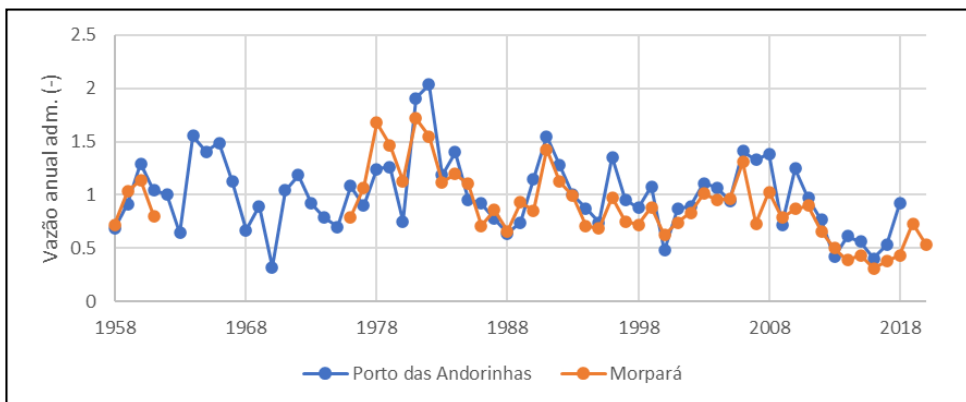


Figura 2. Vazões anuais médias adimensionais no curso principal do rio São Francisco, nas estações hidrológicas de Porto das Andorinhas (14000 km²) e Morpará (345000 km²). O valor 1,0 corresponde à média de longo prazo.

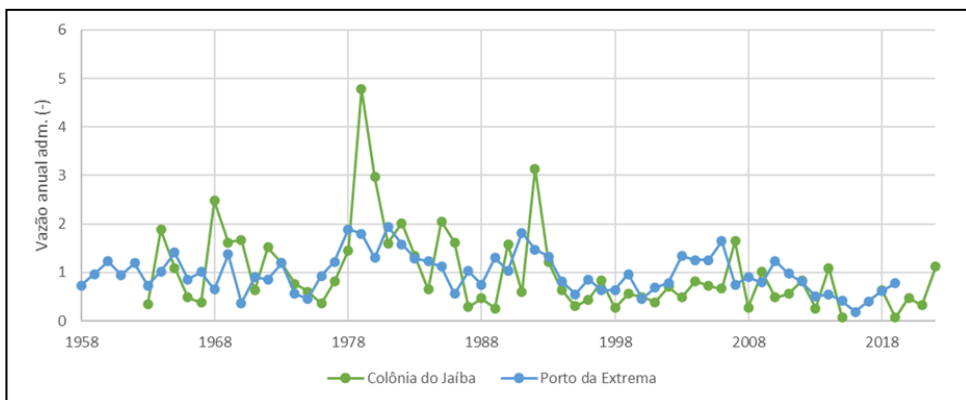


Figura 3. Vazões anuais médias adimensionais nos rios Verde Grande e Paracatu, nas estações hidrológicas de Colônia do Jaíba (12200 km²) e Porto da Extrema (30100 km²). O valor 1,0 corresponde à média de longo prazo.

PREVISÃO HORIZONTE SUBSAZONAL

1. CLIMÁTICA

O horizonte de previsão subsazonal, de 30 a 60 dias, pretende suprir o intervalo de informações entre a previsão de tempo e a previsão climática sazonal. Nessa escala temporal, há uma dificuldade, por estar distante da condição inicial e os efeitos das condições de contorno não estão totalmente estabelecidos para proporcionar previsibilidade do sistema climático (VITART *et al.* 2017).

Para a pesquisa deste projeto, a previsão climática foi produzida a partir do Modelo Eta, desenvolvido no INPE (MESINGER *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2023). Esse é um modelo regional que cobre a área sobre a América do Sul. O modelo é utilizado para previsão de tempo e clima, sendo clima sazonal (CHOU *et al.*, 2005; CHOU *et al.*, 2020), mudanças climáticas (DERECZYNSKI *et al.*, 2020) e paleoclima (MARCHI *et al.*, 2022). Neste projeto, as previsões subsazonais foram produzidas para o horizonte de até 60 dias, utilizando grade de 20 km.

Ressalta-se que é necessário avaliar o desempenho das previsões climáticas e suas limitações. As simulações subsazonais iniciaram nos meses de janeiro e setembro de cada ano. As simulações iniciadas em setembro reproduziram a distribuição espacial da precipitação, embora, de maneira geral, subestimaram os valores. As simulações iniciadas em janeiro reproduzem o padrão de precipitação observado, mas superestimaram a precipitação no Alto São Francisco. A variabilidade interanual da precipitação foi mais bem capturada nas simulações iniciadas em janeiro. A Figura 4 indica a precipitação acumulada em janeiro a cada 10 dias de simulação (D1, D2, D3, D4, D5 e D6), nas diferentes sub-bacias do rio.

Na previsão subsazonal, caso haja indicação de atraso no retorno das chuvas, o uso da água pode requerer ações de economia, de mudanças na data de plantio de culturas ou na busca de fontes adicionais para abastecimento da água. Analogamente, a indicação do fim da estação chuvosa pode auxiliar gestores na estimativa da disponibilidade hídrica restante. Por exemplo, se a previsão indicar término adiantado da estação chuvosa, pode não haver disponibilidade hídrica suficiente para atender a demanda até o início da estação seca. Neste projeto, foi desenvolvido um índice para indicação da data do início da estação

chuvosa baseado na mudança do desvio padrão das chuvas, acumuladas em 5 dias (pêntadas), do período seco para o período chuvoso.

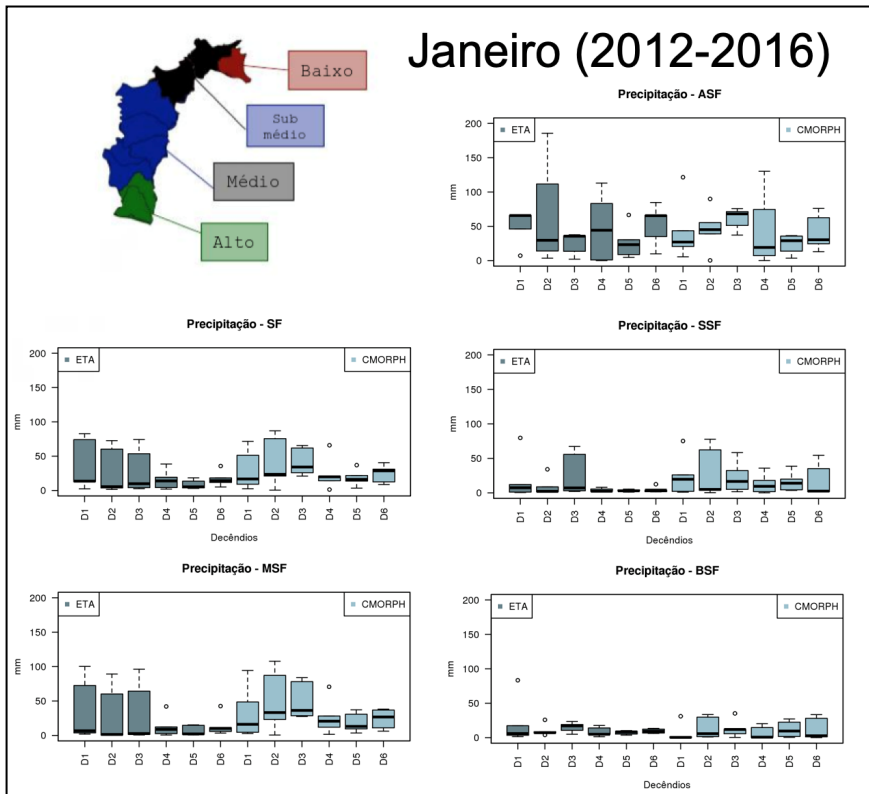


Figura 4. Boxplot da precipitação observada e simulada pelo modelo Eta, acumulada a cada 10 dias de simulação (D1, D2, D3, D4, D5 e D6), para janeiro, nas sub-bacias do Rio São Francisco. **Fonte:** FERREIRA *et al.*, 2023.

Testes de 5 anos, realizados com simulações iniciadas em 1 de setembro e terminadas em 30 de outubro, de 2011 a 2015, mostraram que em 2 anos o modelo errou em adiantar o início da estação chuvosa em 2 pêntadas, em 1 ano, indicou acertadamente a data, e em 2 anos, indicou acertadamente o atraso (SANTOS *et al.*, 2023) (Figura 5). Apesar de um conjunto maior de testes ser necessário para dar robustez aos resultados, ainda assim essas simulações mostram o potencial da ferramenta no auxílio para gestão do uso da água na bacia.



Figura 5. Precipitação média de 5 dias (mm/dia) da pântada 40 até a pântada 73, para o Alto São Francisco, de 2011 a 2015. Simulações de 60 dias (em vermelho) do modelo Eta e observações MERGE (em azul). As barras verticais indicam a pântada do início da estação chuvosa a partir das simulações (vermelho) e das observações (azul). Fonte: SANTOS *et al.* (2023).

II. HIDROLÓGICA

Para avaliar o desempenho das previsões subsazonais geradas pelo modelo Eta, foi conduzido um estudo de caso para a bacia do Rio Paracatu, que possui a irrigação como principal demanda de uso consuntivo da água. Foi realizada a calibração do modelo MGB-IPH, posterior previsão hidroclimática por conjunto, integrando os modelos hidrológico e climático, e por fim, realizou-se uma análise dos indicadores de desempenho.

Os resultados da previsão probabilística de vazões, a partir do conjunto do modelo Eta, se mostraram melhores quando comparados com os resultados da previsão determinística, porém limitados aos primeiros meses de previsão (janeiro, fevereiro) e com maior eficiência, nos primeiros 20-30 dias de previsão.

Os resultados se mostraram insatisfatórios e as vazões foram superestimadas para algumas sub-bacias principalmente nos últimos meses do ano (setembro, outubro) e nos últimos 30-40 dias de 1 previsão. A Figura 6 apresenta os resultados considerando a antecedência de 60 dias.

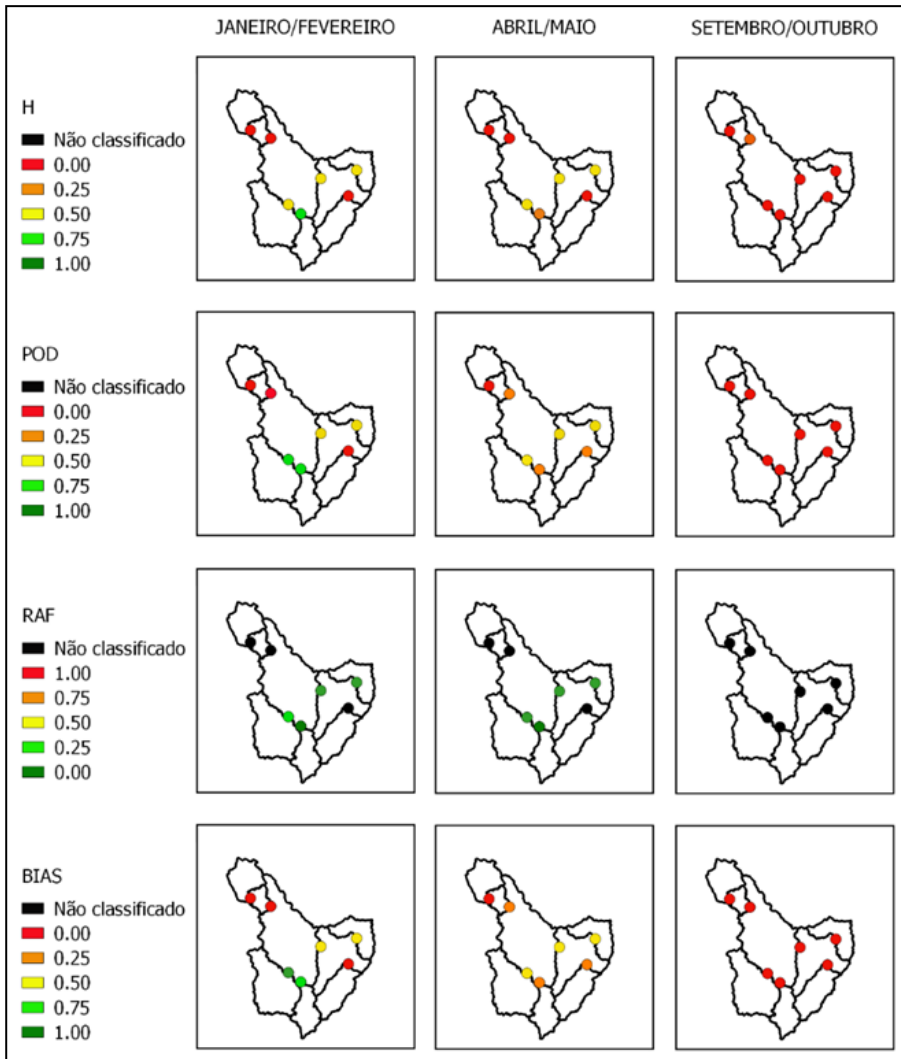


Figura 6. Desempenho da previsão probabilística de 60 dias a partir dos indicadores H, POD, RAF e BIAS. Cor verde indica bom resultado e vermelho resultado insatisfatório.

PREVISÃO HORIZONTE SAZONAL

1. METEOROLÓGICA

No horizonte da previsão climática sazonal, de 3 a 6 meses, em presença de uma forçante, por exemplo, águas mais aquecidas no Pacífico Equatorial (El Niño), existe a possibilidade de prever melhor as anomalias de uma estação do ano, em algumas regiões específicas da Terra (SHUKLA, 1998). São necessários Modelos Climáticos Globais para produzir previsões no horizonte sazonal. Os modelos climáticos globais podem ter somente a componente atmosférica ou ter a atmosfera acoplada a um modelo oceânico, o que lhes permite simular as condições oceânicas, principalmente a Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

Neste projeto, o aumento da resolução da previsão sazonal dos modelos globais foi realizado dinamicamente a partir do uso do modelo Eta (CHOU *et al.*, 2020) forçado pelas condições atmosféricas do modelo global atmosférico (CAVALCANTI *et al.*, 2002) e do modelo global acoplado oceano-atmosfera BESM (Brazilian Earth System Model) (NOBRE *et al.*, 2013), os três modelos desenvolvidos no INPE. As previsões climáticas requerem o uso de previsões por conjunto para fornecer as informações sobre probabilidade, incerteza, previsibilidade e confiabilidade. Uma previsão, por exemplo, do quadrimestre Janeiro-Fevereiro-Março-Abril, os membros foram formados por previsões iniciadas nos dias 13, 14, 15, 16 e 17 de dezembro do ano anterior. Neste horizonte de previsão, são extraídas propriedades estatísticas como médias, anomalias, tendências etc.

Previsões sazonais fornecem as previsões de anomalia da estação, isto é, deseja-se informar se a próxima estação será mais chuvosa ou mais seca que a climatologia da chuva, ou mais quente ou mais fria que a climatologia da temperatura. Portanto, para gerar uma previsão de anomalia, é necessário construir a climatologia de chuva do modelo ou a climatologia de qualquer variável que se deseja prever sua anomalia. A climatologia do modelo é construída a partir de previsões retrospectivas. Neste trabalho, a climatologia das previsões sazonais do modelo Eta foram construídas para os anos de 2001 a 2012, para os 12 quadrimestres do ano, com 5 membros cada previsão. Os 5 membros proporcionam o equivalente a 60 anos de integração.

A Figura 7 mostra a climatologia das previsões retrospectivas de precipitação do modelo Eta, são 12 previsões iniciadas a cada mês do ano. Nota-se que o padrão espacial e a sua variação ao longo do ano são satisfatoriamente capturadas pelas previsões. Previsões sazonais são avaliadas a partir da capacidade de capturar a variabilidade interanual das anomalias para cada ponto de grade do modelo. Portanto, a climatologia do modelo construída a partir das previsões retrospectivas é necessária para efeito de correlação entre as anomalias previstas e as observadas. Essa correlação, em geral, é mais alta nas regiões equatoriais. A Figura 7b mostra onde a previsão tem melhor desempenho ('skill') medido por correlação acima de 0.3. Em geral, há maiores áreas (vermelhas) com skill nos períodos chuvosos.

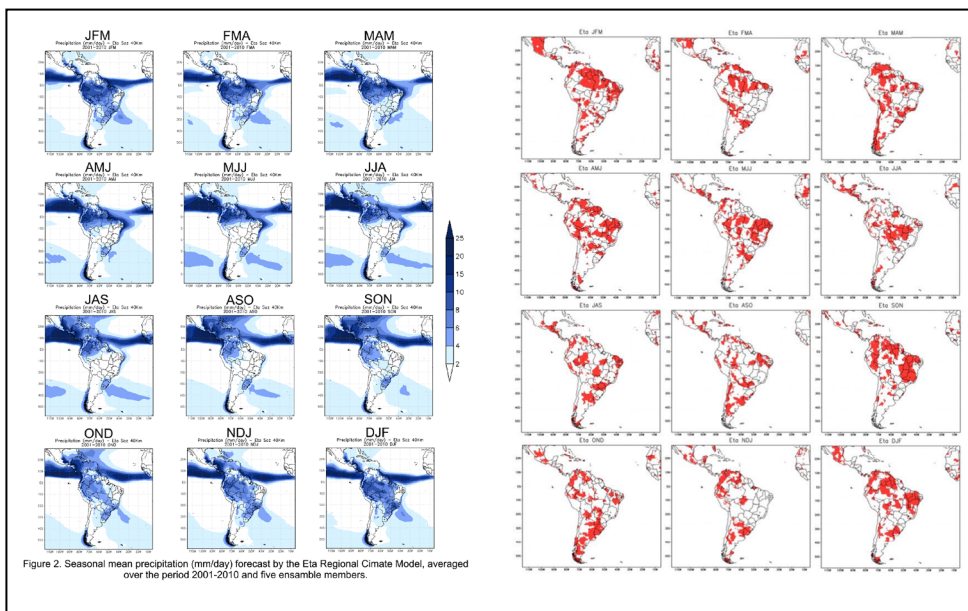


Figura 7. Precipitação (mm/dia) média trimestral, dos 5 membros, do período de 2001 a 2010, prevista pelo modelo Eta (a); Índice de desempenho da previsão, em vermelho valores > 0.3 (b). Fonte: CHOU *et al.* (2020).

Na avaliação das previsões do modelo Eta, notou-se que os padrões espaciais dos erros das variáveis atmosféricas do Eta apresentam semelhanças com os erros do modelo BESM. As anomalias positivas de precipitação de verões chuvosos foram mais bem reproduzidas do que as anomalias negativas de verões extre-

mos secos. Nos anos chuvosos, as previsões do Eta aprimoraram as previsões do BESM (BALTAZAR *et al.*, 2022).

A variável TSM é crucial para a qualidade da previsão climática. A avaliação da previsão da TSM mostrou erros pequenos no 1º mês, novembro. Esses erros crescem e saturam em erros negativos na região onde atua a Zona de Convergência Intertropical (banda de nebulosidade e chuva próxima ao equador), erros positivos no Hemisfério Sul e erros negativos no Hemisfério Norte, no trimestre DJF (Figura 8). Com o intuito de reduzir o viés da TSM prevista pelo modelo BESM, principalmente na região do Atlântico Tropical Sul, foi testada uma técnica de filtros adaptativos para correção de TSM que se mostrou promissor (FARFÁN *et al.*, 2023).

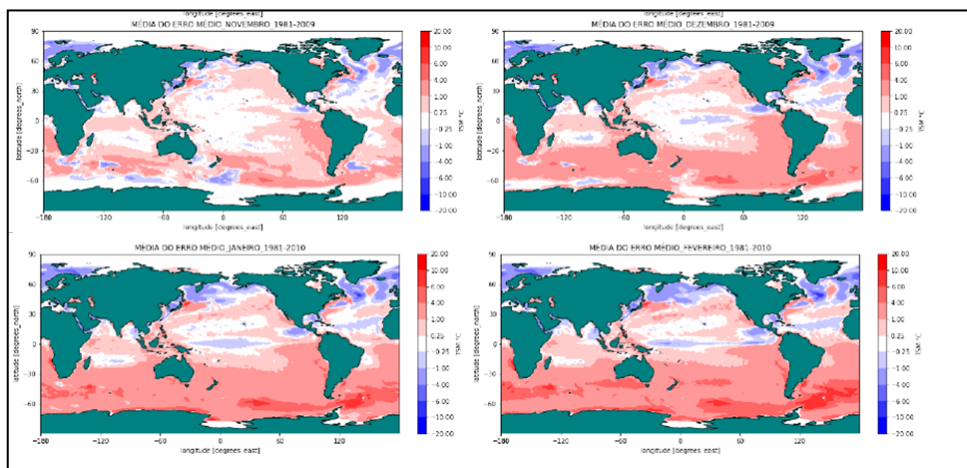


Figura 8. Erro médio da Temperatura da Superfície do Mar (°C) prevista pelo BESM, para os meses de novembro e dezembro. Média obtida entre os anos de 1981-2010.

II. HIDROLÓGICA

Para avaliar as previsões sazonais de precipitação, na geração de previsões de vazão, foi utilizado o conjunto de cinco membros de previsões sazonais do modelo regional Eta, para os meses no período de 2001 a 2018. Esses dados ser-

viram como variáveis de entrada no modelo hidrológico MGB-IPH na geração de previsões sazonais de vazão na bacia do rio São Francisco.

Os resultados mostram que, de maneira geral, o sistema de modelos Eta-MGB apresentou um bom desempenho com relação à previsão hidrológica sazonal para a bacia, sobretudo para as sub-bacias localizadas no Alto e Baixo São Francisco. Com relação às antecedências, não foram observadas diferenças significativas entre os horizontes analisados, embora os resultados para um mês tenham sido relativamente melhores, principalmente considerando o índice de correlação entre as séries observadas e as previstas.

Entretanto, aponta-se a necessidade de correções tanto das precipitações previstas, quanto do viés das previsões hidrológicas em algumas regiões, como no caso de Sobradinho, que apresentou alguns erros sistemáticos. Apesar das dificuldades para previsões com horizontes além de 2 meses, os resultados apontam que houve melhora de desempenho dos modelos climáticos e existem oportunidades para melhorar os resultados, indicando que é importante aplicar esforços para aprimorar as previsões sazonais e avaliar o seu uso na gestão de recursos hídricos.

III. DEMANDA

A simulação de demandas foi realizada em sistemas hídricos de dois afluentes do São Francisco: i) as demandas atendidas pelo reservatório Bico da Pedra no rio Gortuba, afluente do rio Verde Grande; ii) a demanda por água para irrigação na bacia do rio Paracatu.

Para o reservatório Bico da Pedra, foi utilizado o modelo SMAP (Simplified Hydrological Model) para gerar vazões afluentes ao sistema, e o modelo WEAP (Water Evaluation and Planning Systems) (SEI, 2001) para o balanço hídrico do reservatório no atendimento das demandas de água, que incluem o Distrito de Irrigação do Gortuba e abastecimento da cidade de Janaúba. Os resultados mostraram que o acoplamento dos modelos foi capaz de representar o comportamento do sistema e pode ser usado para auxiliar na gestão da alocação de água nesta bacia, que possui um Marco Regulatório implantado pela ANA, devido a criticidade de sua disponibilidade hídrica.

Para simular a demanda de água azul, proveniente da irrigação na bacia do rio Paracatu, foram utilizados os modelos de simulação WEAP e MSEI (Modelo de Simulação de Estratégias de irrigação) (RODRIGUES E MOREIRA, 2015). No WEAP, para simular a demanda de irrigação, utilizou-se o método Simplified Coefficient Method, o qual determina o volume de água necessário para suprir a evapotranspiração da cultura durante seu ciclo. Como desenvolvimento de um protótipo, o modelo foi aplicado à cultura do milho. No cálculo da demanda, foram utilizados dados mensais de precipitação, evapotranspiração de referência, curva de coeficiente da cultura (K_c), precipitação efetiva e fração de irrigação. A precipitação efetiva considerada foi igual a 50% da precipitação, enquanto a fração de irrigação foi 100%. A Figura 9 mostra a demanda hídrica estimada no ciclo do milho, considerando as diferentes datas de inicialização da previsão sazonal.

A disponibilidade hídrica foi fornecida pelo modelo hidrológico MGB-IPH, que, por sua vez, foi forçado pelas previsões do modelo Eta. A disponibilidade hídrica apresentou concordância em relação aos dados observados, mas baixa sensibilidade aos períodos de estiagem mais severos, levando a superestimativa da área potencial de plantio (PSA, do inglês Potential Seeding Area), em anos caracterizados por déficit hídricos nos cursos d'água. A precipitação foi a variável que mais contribuiu para desempenho limitado das simulações de PSA em 4 estações selecionadas, enquanto a evapotranspiração de referência apresentou resultados satisfatórios para toda a série. A automatização do processamento realizado no WEAP possibilitou o desenvolvimento de uma cadeia de processamento robusta passível de utilização em outros estudos.

A aplicabilidade das previsões climáticas sazonais para a estimativa de demanda de irrigação também foi avaliada a partir do modelo MSEI. Foram analisados o espalhamento entre os membros da previsão por conjunto e a antecedência da previsão. Os resultados mostraram que o desempenho da previsão não dependia do membro do conjunto, por outro lado apesar de o horizonte de 1 mês de antecedência apresentar melhor desempenho, os demais horizontes ainda apresentavam previsões úteis para a bacia do rio Paracatu (RANKE, 2023).

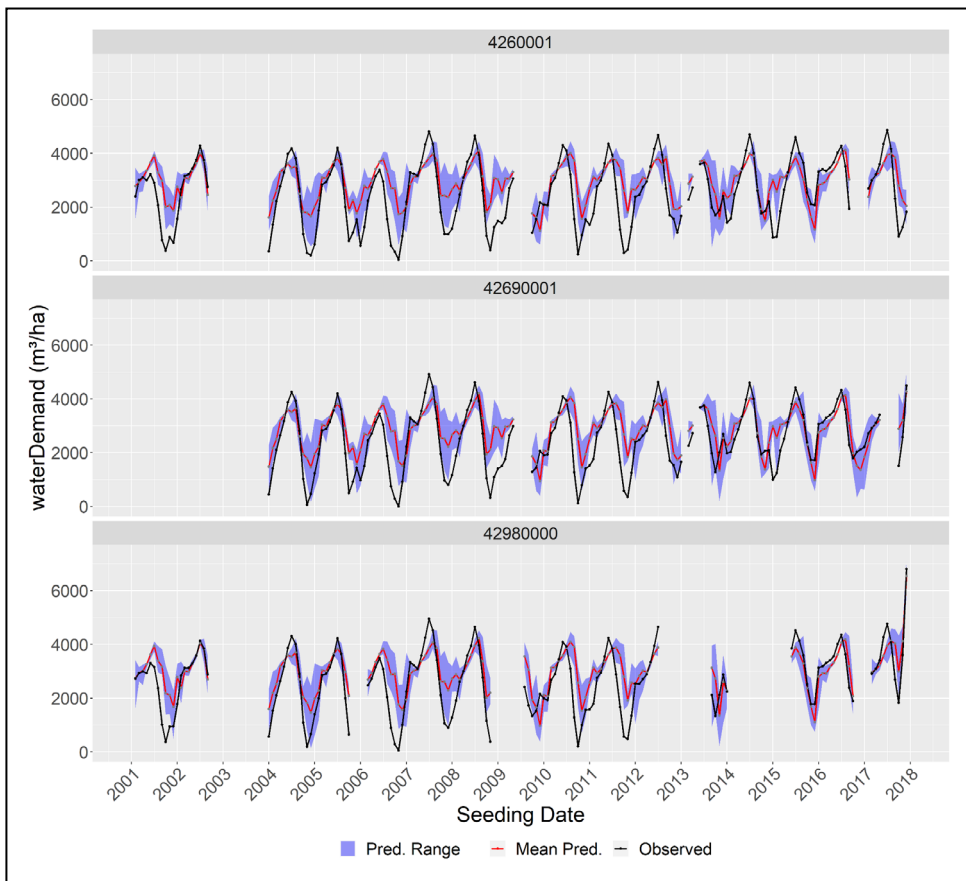


Figura 9. Demanda hídrica total no ciclo do milho semeado em diferentes datas estimada a partir de: observações (curva preta), média da previsão sazonal (curva vermelha). A região sombreada representa o intervalo entre a demanda hídrica máxima e mínima previstas pelos diferentes membros da previsão sazonal por conjunto.

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO

Ao longo do desenvolvimento do projeto, identificou-se que há uma lacuna no processo de alocação de água na bacia do rio São Francisco, no que se refere ao uso de previsões hidrometeorológicas. Apesar das dificuldades e da deficiência das previsões para algumas regiões e horizontes de antece-

dência, é uma ferramenta de grande potencial de aplicação. Tanto que o setor elétrico brasileiro usa previsões de forma operacional há muito tempo. Em uma bacia com histórico de conflitos pela água, como o São Francisco, principalmente entre irrigação e energia, o uso das previsões é um fator de desequilíbrio na capacidade de negociação e na adaptação a condições de extremos climáticos.

As experiências de sucesso conduzidas pela ANA, nos últimos anos, mostram que os modelos de previsões podem ser inseridos nos processos de negociação, mas sempre com parcimônia e dentro de regras de alocação que sejam claras e aceitáveis pelos atores envolvidos. Modelos de simulação e de previsão devem ser entendidos como ferramentas de apoio, cujos resultados podem ou não ser aceitos pelos tomadores de decisão. No final do processo decisório da alocação de água, deve prevalecer a experiência dos atores envolvidos, o seu conhecimento sobre o sistema hídricos e o diálogo permanente na busca de soluções justas e equilibradas.

PÁGINA

A *página web* do projeto (<http://www3.cptec.inpe.br/eta/capes-ana-pro-recursos-hidricos-home>) foi desenvolvida para divulgação e disponibilização das previsões e produções do projeto. Neste site poderão ser encontradas as previsões subsazonais e sazonais. As previsões meteorológicas cobrirão toda América do Sul, com um detalhe na bacia, enquanto as previsões hidrológicas cobrirão toda a bacia do rio São Francisco. As previsões climáticas são desenvolvidas com o auxílio do CENAPAD-SP (Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho em São Paulo), projeto UNICAMP / FINEP - MCTI.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Foram estudados os eventos de extremos de seca na bacia do rio São Francisco, propondo um sistema de previsão de alocação de água a partir do desencadeamento de previsões climáticas e hidrológicas para os horizontes subsazonal e sazonal. As principais conclusões foram:

- I. Os anos hidrológicos de seca na bacia do rio São Francisco não apresentaram associação direta com o fenômeno El Niño ou La Niña. Por outro lado, esses anos de seca apresentaram a ZCAS inativa ou posicionada mais ao sul, além de temperaturas mais altas no Oceano Atlântico, próximo ao litoral do Sudeste;
- II. No horizonte subsazonal, as previsões climáticas mostraram potencial para indicar a data de início e qualidade da estação chuvosa. No horizonte sazonal, as previsões do modelo regional Eta apresentaram mais áreas com desempenho superior às previsões do modelo global.
- III. Identificou-se a necessidade de correção de viés das previsões climáticas para alimentar modelos hidrológico e de demanda de irrigação, de forma a reduzir a propagação de erros na cadeia de modelos;
- IV. Os conflitos pela água se apresentam em diferentes escalas temporais e espaciais, requerendo soluções de modelagem hidrológica adaptadas a cada caso. Para simular e gerar previsões para o rio São Francisco e seus principais afluentes, o MGB-IPH demonstrou ser bastante adequado. Mas para bacias pequenas como o rio Gorutuba os resultados um modelo mais simples, o SMAP, mostrou melhores resultados;
- V. A previsão de vazões tem sido usada de forma operacional somente pelo setor elétrico, para operar os grandes reservatórios. Para a alocação de água, no atendimento dos demais usos, a utilização de previsões ainda é muito incipiente ou inexistente, na maioria dos casos. Para o horizonte sazonal e subsazonal os resultados ainda precisam ser melhorados, o que só irá acontecer se as previsões forem geradas e disponibilizadas regularmente para uso pelos tomadores de decisão;
- VI. Aplicar as previsões na alocação de água exige o trabalho de uma equipe interdisciplinar, de meteorologia, hidrologia, gestores de recursos hídricos, além de pesquisadores e técnicos dos setores de usuários. Trata-se de um desenvolvimento de longo prazo que precisa ser fomentado e discutido visando o aperfeiçoamento permanente das ferramentas e a formação de mão de obra qualificada;

- vii. O modelo WEAP demonstrou ser uma ferramenta com grande potencial para o apoio na alocação de água na bacia do rio São Francisco. Esse modelo apresenta flexibilidade para simular diferentes sistemas hídricos e para assimilar previsões dos modelos atmosféricos e hidrológicos. São poucos os modelos desse tipo disponíveis na atualidade e, também por esse motivo, recomenda-se que seu uso seja incentivado em outros projetos.

PERSPECTIVAS

Aprimoramento e uso das previsões climáticas subsazonais e sazonais é tema de esforço conjunto dos principais centros meteorológicos mundiais e organizado no projeto internacional S2S, do inglês Subseasonal to Seasonal. O uso dessas previsões, na bacia do rio São Francisco, traz um desafio maior por ser uma região de baixa previsibilidade climática. Por outro lado, reconhece-se o enorme valor dessas previsões para o planejamento dos recursos hídricos da bacia, principalmente em anos de escassez, como ocorrido no longo período entre 2012 e 2019. O projeto ajudou na identificação de falhas do modelo climático e apontou possíveis abordagens para aprimorar estas previsões, principalmente com relação às condições da superfície do mar e do solo.

Em relação ao trabalho desenvolvido na modelagem hidrológica, a equipe irá continuar trabalhando no aprimoramento dos modelos utilizados no projeto, visando melhorar a representação das bacias, a geração de previsões de vazão e a avaliação de seu uso na alocação de água. A incorporação de novas bases de dados, principalmente oriundas de sensoriamento remoto (chuva, evapotranspiração, umidade do solo, dentre outras) são melhorias que se mostram necessárias e serão trabalhadas em projetos futuros. Em relação aos modelos de alocação de água, o projeto possibilitou identificar que não são necessárias ferramentas complexas para apoiar o processo decisório. As experiências atuais indicam que metodologias simples podem ser mais eficientes, devido à heterogeneidade dos usuários de água.

A continuidade da pesquisa está sendo buscada mediante bolsas dos programas de pós-graduação envolvidos, programa de iniciação científica e novos

editais de fomento. Para garantir que a continuidade das pesquisas alcance os tomadores de decisão, é fundamental que editais como o Pró-Recursos Hídricos tenham continuidade por meio de novas chamadas. Outras fontes têm sido buscadas, mas o conhecimento da ANA sobre as necessidades do setor é uma forma de orientar os temas de pesquisa e garantir que sejam apoiados projetos realmente relevantes e inovadores. Ao final, espera-se que as questões abordadas contribuam para apoiar na adoção de melhores práticas de gestão de água e na possibilidade subsidiar os Marcos Regulatórios.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLU, J. T.; *et al.* **Terra Climate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015.** Scientific data, v. 5, p. 170191, 2018. DOI: 10.1038/sdata.2017.191.
- ADLER, R. F.; GU, G.; HUFFMAN, G. J. Estimating climatological bias errors for the Global Precipitation Climatology Project (GPCP). **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 51, n. 1, p. 84-99, 2012. DOI: 10.1175/JAMC-D-11-052.1.
- AFONSO, E. O.; *et al.*, **Climate variability around the Sobradinho Lake.** Submetido Climate 2023.
- ASHOURI, H.; *et al.* **PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies.** Bull. Amer. Meteor. Soc., v. 96, n. 1, p. 69-83, 2015. DOI: 10.1175/BAMS-D-13-00068.1.
- BECK, H. E.; *et al.* **MSWEP V2 Global 3-Hourly 0.1 Precipitation: Methodology and Quantitative Assessment.** Bull. Amer. Meteor. Soc., 100, 473–500, DOI: 10.1175/BAMS-D-17-0138.1.
- CAVALCANTI, I. F. A.; *et al.* **Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM.** J Climate, v. 15, p. 2965-2988, 2002.
- CHEN, M.; XIE, P.; JANOWIAK, J. E. Global land precipitation: A 50-yr monthly analysis based on gauge observations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 3, p. 249-266, 2002. DOI: 10.1175/1525-7541(2002)003<0249:GLPAYM>2.0.CO;2.
- CHOU, S. C.; *et al.* **Ten-year hindcasts of Eta seasonal forecasts.** An Acad Bras Cienc, v. 92, n. 3, p. e20181242, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020181242.
- CHOU, S. C.; *et al.* **Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America.** Nonlin Processes in Geophys 12: 537-555, 2005.

- DERECZYNSKI, C.; *et al.* **Downscaling of climate extremes over South America – Part I: Model evaluation in the reference climate.** *Weather and Climate Extremes*. p. 100273, 2020. DOI: 10.1016/j.wace.2020.100273
- FARFÁN, H. H.; *et al.* Correção de viés em previsão climática global de temperatura da superfície do mar por meio de filtros adaptativos no domínio da frequência. Submetido à *Rev. Bras. de Climatologia*, 2023.
- FUNK, C.; *et al.* **The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes.** *Scientific Data*, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015.
- GOMES, J. L.; *et al.* **Manual Modelo Eta - versão 1.4.2**, 138 pp. INPE. São José dos Campos, SP, Brasil. <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/48G6PU5>.
- HARRIS, I.; *et al.* **Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset.** *Scientific data*, v. 7, n. 1, p. 1-18, 2020. DOI: 10.1038/s41597-020-0453-3.
- LAUREANTI, N. C.; *et al.* On the relationship between the South Atlantic Convergence Zone and Sea Surface Temperature during Central-East Brazil extreme precipitation events. *In: Dynamics of Atmospheres and Oceans* (Submetido). 2023
- MARCHI, A. C.; *et al.* **Simulações climáticas do Holoceno Médio para o Brasil utilizando o modelo regional paleoclimático Eta.** *Derbyana*, 43, e775, 2022. DOI: 10.14295/derb.v43.775
- MASCARENHAS, A. C. M. **Conflitos e gestão de águas: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco.** Universidade de Brasília. DF. 2008, 211p.
- MESINGER, F.; *et al.* **An upgraded version of the Eta model.** *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 116, n. 3, p. 63-79, 2012. DOI: 10.1007/s00703-012-0182-z.
- NOBRE, P.; *et al.* **Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model.** *J. Climate*, v. 26, p. 6716-6732, 2013. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00580.1
- RANKE, B. S. **Avaliação de previsões climáticas no horizonte sazonal na estimativa da demanda de irrigação na bacia hidrográfica do Rio Paracatu.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, MG, julho, 2023.
- RODRIGUES, L. N.; MOREIRA, J. M. M. A. P. Desenvolvimento de um modelo de simulação de estratégias de irrigação. *In: III Inovagri International Meeting-2015.* INOVAGRI/INCT-EI, Fortaleza, Ceará, Brasil, Anais [...]. p. 1817–1825, 2015.
- ROZANTE, J. R.; *et al.* **Combining TRMM and surface observations of precipitation: Technique and validation over South America.** *Wea. Forecasting*, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010. DOI: 10.1175/2010WAF2222325.1.

SANTOS, J. L. **Avaliação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, com destaque para o Desenvolvimento de Capacidades.** Rio de Janeiro: Cap-Net Brasil. 2007.

SANTOS; *et al.* **Evaluation of precipitation simulations at subseasonal scale in the Sao Francisco River Basin, Brazil.** Anuário do Instituto de Geociências, 2023.

SEI - STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE. **WEAP (Water Evaluation and Planning):** User Guide for WEAP21. Boston, EUA, 2001.

SHUKLA, J. Predictability in the midst of chaos: A scientific basis for climate forecasting. **Science**, v. 282, n. 5389, p. 728-731, 1998. DOI: 10.1126/science.282.5389.728.

VITART, F.; *et al.* **The Subseasonal to Seasonal (S2S) Prediction Project Database.** Bull. Amer. Meteor. Soc., v. 98, p. 163-173, 2017. DOI: 10.1175/BAMS-D-16-0017.1.

XAVIER, A. C.; *et al.* New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022. DOI: 10.1002/joc.7731.

XIE, P.; *et al.* **A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia, J. Hydrometeorol.**, 8, 607- 626, 2007. DOI: 10.1175/JHM583.1.

XIE, P. P.; *et al.* **GPCP Pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates.** J. Climate, v. 16, n. 13, p. 2197–2214, 2003. DOI: 10.1175/2769.1.

Integração de modelos econômicos para apoio à decisão em políticas de alocação de águas

Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes

Ignácio Tavares Junior

Marcelo Pereira da Cunha

À medida que a economia e a competição pela água crescem, os benefícios e os custos das realocações de água se tornam mais significativos e precisam ser mensurados. Nos países em desenvolvimento, a Gestão e Alocação Integrada de Recursos Hídricos (GAIRH) é considerada um desafio econômico complexo. A GAIRH mantém os princípios da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos tendo o seu foco deslocado para alocação de águas em bacias hidrográficas diante da escassez e incerteza hídrica. Este projeto desenvolveu uma plataforma de modelos econômico-integrados para apoiar a definição de políticas de alocação de águas implementadoras de um desenvolvimento econômico sustentável. Foram desenvolvidos modelos de otimização para alocação e modelos *economywide*, integrados por meio do *HEAL System*, em trabalho interdisciplinar. A plataforma simulou a aplicação de instrumentos regulatórios e econômicos em 4 bacias interligadas do agreste pernambucano, região com o pior balanço hídrico no Brasil, e pôde avaliá-los de forma inovadora usando indicadores socioeconômicos e de eficiência hídrica. A rede de pesquisa envolveu 3 universidades e 6 pós-graduações, formando 1 mestre, 4 doutores e 3 doutorandos com projetos de tese aprovados. Foram desenvolvidos 3 trabalhos de pós-doutorado. Quatro artigos científicos em periódicos internacionais foram publicados e há outros em preparação.

Palavras-chave: modelos econômico-integrados; alocação de águas; modelos baseados em rede; modelos *economywide*; Sistema de Apoio a Decisão Espacial.

A região da América Latina e Caribe é uma importante fornecedora global de produtos agropecuários, mas tem enfrentado a chamada deterioração dos termos de troca, pois vem atendendo demandas globais a preços mais baixos com custos ambientais não contabilizados (CANGO; RAMOS-MARTÍN; FALCONÍ, 2023; FALCONÍ; RAMOS-MARTIN; CANGO, 2017). Países como o Brasil, a Argentina, o México e o Chile precisam compreender as oportunidades futuras de produção e comércio agropecuário na região, considerando a gestão sustentável dos recursos naturais, especialmente da água, que é essencial para a agricultura, o maior consumidor desse recurso.

No Brasil, o aumento previsto na produção de cultivos pode tornar a agricultura irrigada a próxima fronteira agro econômica do país, o que torna crucial o desenho de políticas de alocação de água eficientes para aumentar a produtividade agrícola sem prejudicar outros usos da água e o meio ambiente. À medida que a economia e a competição por água crescem, os benefícios da realocação desse recurso se tornam significativos e devem ser considerados de forma abrangente, incluindo benefícios socioeconômicos e *trade-offs* entre diferentes usos.

Atualmente, mesmo áreas tradicionalmente mais secas, como o Nordeste do Brasil, que contém a maior parte de sua região no semiárido, têm testemunhado um crescimento no uso da irrigação. O uso desregulamentado dos recursos hídricos para irrigação deve levar a impactos ambientais negativos e aumentar as pressões sobre os demais usos da água. Todos os usos, incluindo os ambientais, precisam ter, local e regionalmente, seus benefícios socioeconômicos mensurados bem como os *trade-offs* de realocações entre eles.

Pernambuco representa bem os problemas hídricos enfrentados por áreas de escassez hídrica, na América Latina. O estado é um dos mais secos do Brasil, com disponibilidade hídrica per capita abaixo do limite de conflito hídrico. A maior parte do território encontra-se no semiárido nordestino, onde a dispo-

bilidade hídrica é baixa e a variabilidade de precipitação é alta, resultando em episódios recorrentes de seca e de necessidade de transferências externas de água.

O estado tem investido em infraestrutura de engenharia hídrica, como adutoras e reservatórios, para regularizar o suprimento de água. Um exemplo é a Adutora do Agreste, que interligará as principais bacias (as bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca e Una) da região ao Projeto de Integração do Rio São Francisco, com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. No entanto, essas obras constituem apenas parte da gestão, numa estratégia conhecida como gestão de oferta, necessária, mas não suficiente para resolver completamente os desafios hídricos enfrentados por Pernambuco.

Nesse estado, a irrigação é a atividade que mais consome água, representando 53% da demanda total, em 2018, seguida pelo setor industrial (19%) e abastecimento humano (10%). (ANA, 2020) O consumo de água para irrigação no estado aumentou cerca de 40%, entre 2000 e 2018¹. Na região semiárida do Agreste de Pernambuco, a parcela de consumo de água na irrigação em relação ao consumo total é ainda maior, equivalente a 64%, em 2018, enquanto a do abastecimento humano é de 21%.

Estima-se que a área a ser irrigada, em todos os estados do semiárido brasileiro, com as águas transpostas do São Francisco, deva aumentar mais de 10 vezes, no período de 2006 a 2035 (CODEVASF, 2007). A monocultura da cana-de-açúcar é responsável por 83% da produção de alimentos do estado, sendo cultivada principalmente na Zona da Mata. A revogação do Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar, em 2019, facilitou o financiamento para a irrigação dessa cultura no Nordeste, podendo favorecer sua expansão no interior do estado, em detrimento de cultivos menos intensivos em água.

Observa-se, ainda, que a expectativa de aumento na demanda por biocombustíveis de primeira e de segunda geração nos mercados globais pode afetar negativamente a disponibilidade de água azul e cinza, especialmente em regiões

1 O aumento na produção agrícola irrigada pode aumentar o déficit hídrico no estado. Em 2030, projeta-se que a demanda de água para irrigação alcance 34,4 m³/s.

escassas em água como Pernambuco. A escassez de água pode ser aliviada ou agravada diante de uma maior liberalização do comércio de produtos agropecuários, dependendo apenas da gestão adequada (SCHMITZ *et al.*, 2013).

Em regiões onde a liberalização piora a escassez de água, as exportações agrícolas podem ter vantagem comparativa devido ao preço da água para irrigação não refletir sua escassez local (BIEWALD *et al.*, 2014). Pernambuco aparece como o maior exportador de água “cinza” e o segundo maior de água “verde” necessários à produção de bioetanol de cana para atender demandas internacionais, mas quase nada do valor adicionado pelo etanol exportado fica na economia local. A produção de cana irrigada é vantajosa em relação a outras culturas e atividades econômicas no estado, o que deve aumentar a competição pela água escassa. (CASTILLO *et al.*, 2017).

O potencial de expansão da bioenergia no estado pode agravar seus problemas de recursos hídricos. Para prevenir esse impacto, políticas e instrumentos de gestão da água devem considerar os valores econômicos da água como medida de sua escassez, em especial no processo de produção de cana-de-açúcar/etanol. Planejamento e regulação adequados podem alterar a competitividade entre setores econômicos, incentivando investimentos em tecnologias que aumentem a eficiência no uso da água.

Essas questões são cruciais para a gestão de recursos hídricos nas bacias receptoras do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Em especial a região do Agreste Pernambucano, que vai receber água do PISF para resolver a sua situação de pior balanço hídrico do país, há necessidade urgente de complementar os esforços e investimentos feitos em gestão de oferta, com uma gestão de demanda norteada pelos princípios da (GIRH ou IWRM a sigla em inglês)², como definida pelo Global Water Partnership (GWP, 2004).

2 A GIRH reconhece a interconexão entre pessoas, ecossistemas e hidrologia, e busca promover uma gestão coordenada dos recursos naturais (água, terra e outros), que maximize o bem-estar econômico e social, de uma forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas.

JUSTIFICATIVA

Os investimentos consideráveis em infraestrutura hídrica já feitos no estado de Pernambuco e os conflitos existentes e potenciais pelo uso da água, devem beneficiar-se da definição de políticas de alocação do recurso, segundo o conceito de Gestão e Alocação Integrada de Recursos Hídricos (GAIRH ou IWRAM, na sigla em inglês). O GAIRH mantém os princípios da GIRH, contudo, devido à presença de incerteza e escassez de água, o foco se desloca para a alocação de água dentro de uma bacia hidrográfica ou um conjunto de bacias hidrográficas.

A GAIRH considera a alocação de água em uma bacia hidrográfica como um problema econômico complexo. A economia fornece conceitos e base teórica importantes para resolver esses problemas, uma vez que lida com a alocação ótima de recursos escassos e suas implicações sociais. (ACEMOGLU; LAIBSON; LIST, 2015) No entanto, a alocação eficiente do ponto de vista econômico de água requer avaliações não monetárias e intervenção governamental devido às particularidades dos recursos hídricos, como variação anual na oferta, economias de escala na distribuição e o caráter de bem público.

Mesmo sendo caracterizada como um problema econômico, as políticas de distribuição de água têm sido predominantemente baseadas em fundamentos teóricos de engenharia e de hidrologia, levando a ineficiências e sobreutilização do recurso, especialmente em países em desenvolvimento com recursos hídricos sujeitos a crescentes pressões devido ao crescimento da população, urbanização crescente e desordenada e mudanças climáticas. Ademais, nestes países os poderes políticos desequilibrados e a baixa capacidade de aplicação das regulamentações também contribuem para tal.

Mesmo sabendo que a eficiência econômica não é o único critério a ser considerado na alocação da água, e que, em geral, tampouco é o critério final usado nas decisões de alocação, os tomadores de decisão devem se beneficiar da aplicação de técnicas de avaliação econômica e modelos econômico-integrados para medir os valores associados aos instrumentos de alocação. (YOUNG; LOOMIS, 2014). Para ser eficaz, a intervenção governamental deve ser baseada em políticas e instrumentos de água analisados com técnicas de avaliação econômica, conforme recomendado pelo Princípio nº 4 de Dublin (INTERNATIONAL CONFERENCE ON

WATER AND THE ENVIRONMENT, 1992). Vários benefícios dos instrumentos de alocação baseados em mercado têm sido demonstrados na literatura em relação a sistemas de distribuição menos flexíveis (BHATIA *et al.*, 2006).

Uma economia regional com escassez de água, baseada em setores intensivos em água, compromete seu desenvolvimento econômico sustentável e exigirá políticas bem planejadas, que devem fornecer incentivos para aumentar a eficiência e a produtividade da água. As políticas de alocação de águas podem alterar a forma como a distribuição é feita e, assim, os indicadores de eficiência e produtividade da água em uma economia podem ser melhorados realocando água para os setores econômicos que usam o recurso de forma menos intensiva e mais eficiente.

Tais políticas são implementadas através de instrumentos de gerenciamento desenhados e constantemente avaliados quanto a seus efeitos nesses indicadores. No entanto, o que ocorre em geral é que os tomadores de decisão têm acesso a informações sobre os quantitativos de alocação de água resultantes da aplicação desses instrumentos, porém, não conseguem vinculá-los aos seus impactos sociais, econômicos e regionais, que possibilitariam o cálculo dos indicadores de eficiência e produtividade.

À medida que a economia e a competição pela água, bem como o valor dela crescem, tais medidas, seus *trade-offs*, e os benefícios e os custos da alteração das alocações precisam ser mensurados, pois se tornam cada vez mais significativos (ROSEGRANT; BINSWANGER, 1994). Essas alocações têm múltiplos *trade-offs* entre usos e usuários diante da escassez e incerteza hídrica. Por isso mesmo, a GAIRH, vem sendo considerada um problema de gestão complexo, ou “wicked water problem”, conforme definido por (BEUTLER, 2016).

Uma característica fundamental na gestão desses “wicked water problems”, segundo Megdal (comunicação pessoal, 23 de junho de 2022), é que eles são mitigados em vez de resolvidos, o que significa que, ao invés de procurar uma solução definitiva, o que se busca é um caminho, uma trajetória de soluções, que levem a um futuro desejável. Para isso, a tecnologia e a ciência econômica serão determinantes para apoiar a participação de todas as partes interessadas no desenho de políticas de alocação de águas (instrumentos de gestão), entre usos/usuários, que sejam capazes de desincentivar setores econômicos que contribuam para problemas de escassez ou ambientais, e de privilegiar os que usam a

água de forma racional e eficiente, contribuindo, assim, para a sustentabilidade.

Nesse contexto, este projeto propôs e desenvolveu uma plataforma integradora de modelos econômicos, ver Figura 1, disponibilizada mediante um Sistema de Apoio a Decisão Espacial (SADE) intitulado HEAL (*Hydro-Economic Allocation*) System (ALCOFORADO DE MORAES *et al.*, 2021; SOUZA DA SILVA; ALCOFORADO DE MORAES, 2021). O sistema possibilita o desenvolvimento e a disponibilização de resultados de modelos de otimização de alocação de água entre usuários em nível de bacia.

Tais modelos identificam a alocação ótima segundo diferentes critérios, hidrológicos e econômicos, considerando restrições físicas, institucionais e ambientais. Dessa forma pode-se simular diferentes instrumentos de gestão da alocação. Associados a eles, benefícios econômicos diretos, ou seja, aqueles relacionados aos usuários da própria bacia, são mensurados como resultado das diferentes estratégias de alocação do recurso implementadas pelos instrumentos. O SADE³ possibilita que esses modelos de alocação compartilhem a mesma base de dados espacial, que integra todas as informações hidrológicas e econômicas das fontes e usos de água, bem como de suas conexões por meio de uma rede de nós e links representativa da área de estudo⁴.

Devido a sua detalhada representação espacial, esses modelos de alocação são classificados como modelos baseados em rede. A base de dados é gerenciada por intermédio de um Sistema de Informações Geográfico (SIG), tendo como base a internet, fortemente acoplado aos modelos de alocação de água, que utilizam técnicas de otimização implementadas, em *General Algebraic Modeling System* (GAMS), para identificar ou simular uma alocação específica de água entre os usuários em uma bacia hidrográfica ou conjunto de bacias. Esse forte acoplamento segue o modelo conceitual proposto por (CAI; MCKINNEY; LASDON, 2002).

3 O HEAL System é completamente compatível com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

4 Os dados são ligados a uma estrutura de nós e links, que podem ser editados através do módulo de geração da rede de nós e links, estrutura a partir da qual serão gerados os modelos de otimização.

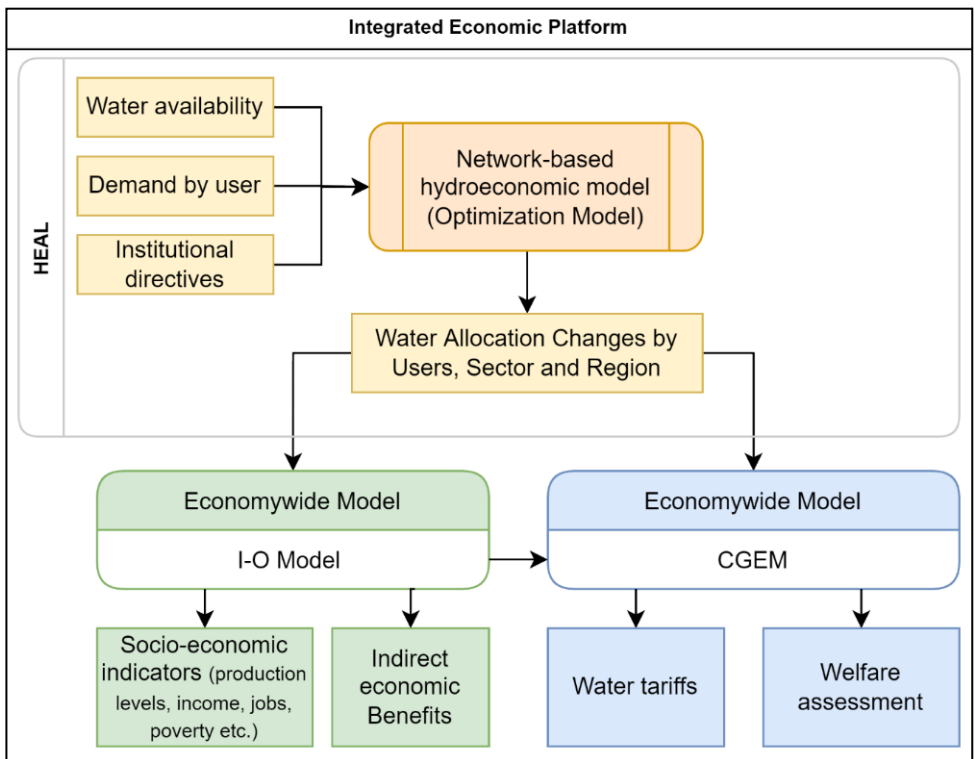


Figura 1. Plataforma econômico-integrada. Fonte: Alcoforado de Moraes, *et al.*, 2024.

O HEAL conecta, então, os resultados dos modelos de otimização, por meio de um *soft link*, aos chamados modelos *economywide*, que são modelos econômicos, como aqueles de Insumo-produto (MIP) e de Equilíbrio Geral Computável (MEGC), capazes de representar e calcular indicadores de maior abrangência de uma economia, tais como: PIB, emprego, receitas governamentais, consumo, investimento, exportações e importações, distribuição da renda e vantagens comparativas entre setores econômicos. Mediante integração dos dois tipos de modelos, os baseados em rede e os *economywide*, a plataforma desenvolvida consegue associar impactos econômicos de maior abrangência com decisões de alocação em nível de bacias, resultantes da aplicação de diferentes instrumentos de gestão, tais como: retiradas de água pelos usuários, fluxos de água, volumes de reservatórios, qualidade e disponibilidade de água em nível de bacia hidrográfica.

A plataforma integrada pode, assim, de forma inovadora, apoiar o design dos instrumentos de gestão de águas, fornecendo informações sobre como um

determinado tipo de mecanismo é capaz ou não de reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, de melhorar a eficiência hídrica e de favorecer setores/regiões que contribuem para o crescimento do desenvolvimento econômico em escala regional. Isso deve possibilitar uma gestão de recursos hídricos, em que decisões relativas ao desenho e constante avaliação das ferramentas de gestão a serem usadas, sejam tomadas de forma colaborativa e negociada, sobre uma base de informações transparente e acessível a todos.

Essa governança adaptativa é importante, especialmente em regiões com escassez de água e crescentes necessidades de transferência de água, como é o caso do Nordeste do Brasil. A Lei brasileira de recursos hídricos, Lei 9.433, promulgada em 1997 (BRASIL, 1997), exige governança descentralizada, o que significa que requer a participação da sociedade civil.

Sem o conhecimento científico que traga transparência às decisões na gestão da água, a essência da lei brasileira, também conhecida como “lei cidadã”, fica comprometida. O pleno exercício da cidadania em relação à gestão da água e às leis e regulamentos que a acompanham torna-se difícil se não houver dados científicos que forneçam as informações e a transparência necessárias para uma tomada de decisão inteligente e equitativa. Nesse contexto, o conhecimento de medidas dos impactos econômicos e sociais dos instrumentos de gestão, passíveis de serem utilizados, incluindo seu impacto na eficiência do uso da água e nos indicadores de produtividade da economia regional, será fundamental.

ESTUDO DE CASO

(Adaptado de Alcoforado de Moraes et al. (2021); Souza da Silva; Alcoforado de Moraes (2021) e teses de doutorado de Reinan Santos e Bruno Guedes)

O estudo de caso utilizado se constituiu em quatro importantes bacias hidrográficas interligadas (Figura 2), na sub-região do Agreste pernambucano, associadas aos rios Capibaribe, Ipojuca, Una e Sirinhaém. Essas bacias têm balanços hídricos críticos e necessidades crescentes de transferências externas de água. A região receberá contribuição do Rio São Francisco (SOUZA DA SILVA;

ALCOFORADO DE MORAES, 2018), após a conclusão do projeto de Integração desse rio (PISF) (ANA, 2005), junto com as obras do Ramal e da Adutora do Agreste. Essas bacias já dispõem de sistemas de abastecimento de água para uso humano que são intermunicipais, o que significa que alguns deles utilizam água captada em municípios diferentes da bacia a que pertence. Por esse motivo, consideramos as bacias interligadas, mesmo antes da integração com o PISF ser representada na modelagem. A conclusão dessa obra de infraestrutura hídrica deve aumentar ainda mais a interconexão das bacias.

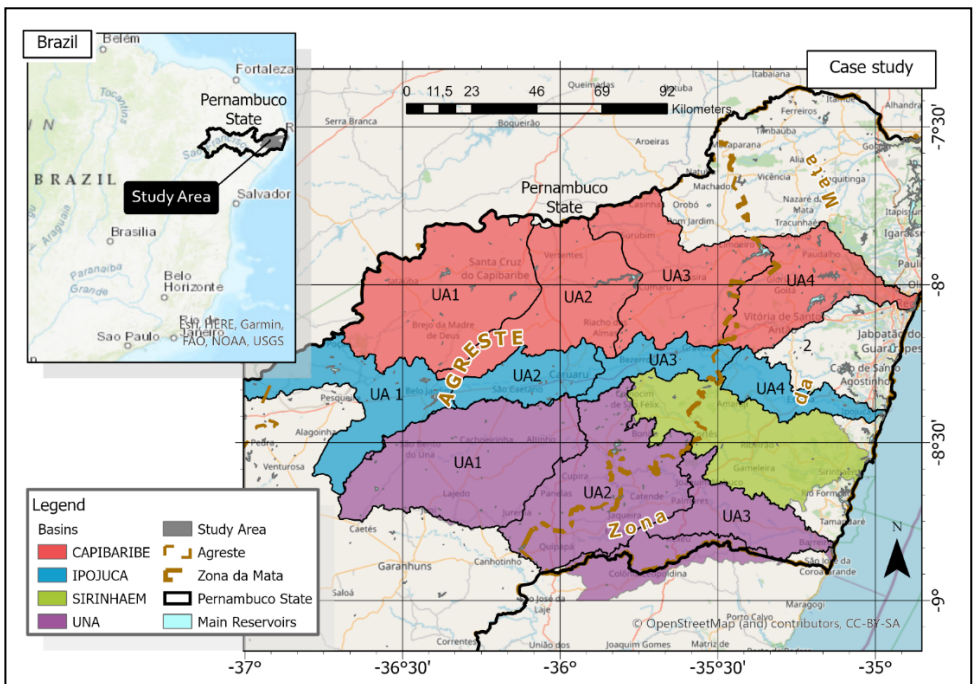


Figura 2. Área do estudo de caso: Estado de Pernambuco – Brasil; Bacias interligadas (Capibaribe, Ipojuca, Una e Sirinhaém); Região do Agreste e Região da Zona da Mata.

Essa região deve se beneficiar do desenvolvimento de políticas públicas de água, mediante instrumentos desenhados de forma a melhorar a gestão e aumentar a eficiência do uso da água, especialmente depois que as obras de infraestrutura hídrica do PISF forem concluídas. Devido a esse projeto de integração (PISF), estão sendo planejados novos esquemas de irrigação pública, indicando

que as áreas de agricultura irrigada podem aumentar significativamente na região com a chegada da água do PISF. A irrigação da cana de açúcar, cultura muito intensiva em água, vem aumentando e o estado já aparece como exportador virtual de água “azul” devido à produção de etanol antes mesmo da transposição de águas (CASTILLO *et al.*, 2017). Ademais, esse é o setor que apresentou a menor eficiência no uso da água (WUE) na área de estudo. Além disso, como já mencionado, os impedimentos legais existentes (Lei Federal nº 6.961, 2009) para a irrigação de cana-de-açúcar, na região Nordeste, foram, recentemente, removidos por decreto federal de 11 de novembro de 2019.

O *HEAL System* permitiu o desenvolvimento de modelos de otimização, usando diferentes critérios de alocação de águas fortemente acoplados a uma base de dados espacial do SADE, que incorporou as informações dessas quatro importantes bacias do agreste pernambucano por meio de uma rede de nós e links. A rede consegue representar espacialmente os principais componentes desse sistema hídrico, integrando suas informações hidrológicas e econômicas.

Essa localização espacial das fontes e demandas de água nos modelos permite situar geograficamente todos os componentes do balanço hídrico de uma bacia, como fontes, demandas, usos, fluxos e coeficientes de retorno. Infraestruturas hídricas relevantes, como os grandes reservatórios, também são representados, com seus valores de armazenamento, evaporação e liberação.

O modelo baseado em redes é fundamentado na teoria dos grafos, com o transporte de água representado por meio de um grafo direcionado (ou links). Os nós representam as entidades físicas (principais usuários e fontes de água na região) e os links as conexões lógicas entre essas entidades. Existem dois tipos diferentes de nós: (1) nós de suprimento, ou nós-fonte, como rios, canais e reservatórios; (2) nós de demanda consuntiva (agricultura irrigada, instalações industriais e demandas domésticas) e demanda não consuntivas (hidrelétrica, recreativa, ambiental). Dependendo do tipo, esses nós terão atributos diferentes. Entre os nós de suprimento, existem nós *stream*, que representam pontos intermediários ao longo dos rios, segmentando-os, e nós reservatório, que representam as capacidades de armazenamento das barragens da área de estudo. A partir desses nós-fonte, os de

demanda (usuário/ usos de água ou representantes dos vários usuários de água) são conectados. A Figura 3 mostra a rede criada para o estudo de caso e a interface do sistema HEAL.

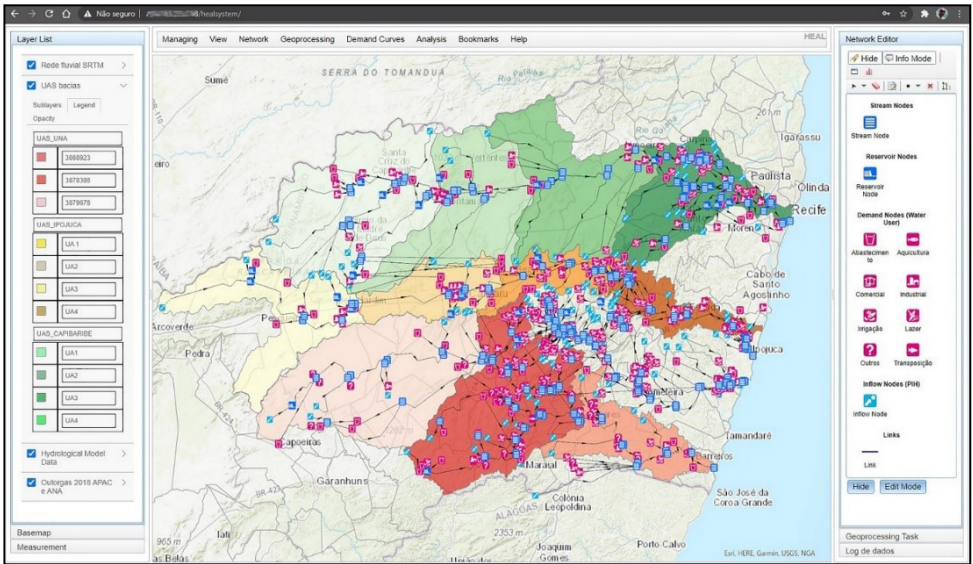


Figura 3. Sistema HEAL em interface Web, Camada com Unidades de Análise (UA) das bacias hidrográficas do Capibaribe, Ipojuca e Una; Rede de nós e links construída.

O sistema HEAL gera, automaticamente, modelos de otimização para o GAMS (ROSENTHAL, 2016), a partir da rede criada com critérios de otimização variados. Os problemas de otimização não lineares são resolvidos usando o GAMS e o solver Conopt3. Os dados econômicos, além das informações hídricas, estão associados aos nós de demanda, e essas informações econômicas identificam o setor a que cada usuário (nó de demanda) pertence. Elas são importantes para permitir a ligação entre os modelos de otimização (modelos baseados em rede) e os modelos *economywide* (MIP e MEGC).

Os resultados ótimos dos modelos de otimização fornecem valores para as variáveis de decisão, que são os valores alocados, simultaneamente, em todos os períodos (meses/anos) considerando todas as entradas relativas a um período em análise. Nesse estudo de caso, foi utilizado o triênio 2011 a 2013. Esse pe-

ríodo foi escolhido pois compreende o período inicial de uma seca iniciada em 2012 e que se estendeu até 2018.

Os modelos utilizaram técnicas de otimização para representar o problema complexo de alocação de águas entre os nós de demanda (usuários) da rede durante todos os meses do período, representativos da área de estudo - envolvendo 116.046 variáveis e 102.129 equações (funções objetivo e restrições). Parte dessas restrições era física, parte institucional. As restrições físicas determinam que a alocação ótima dos recursos hídricos para os usuários que demandam água para suas atividades precisa ser compatível com o fornecimento de água em cada fonte de suprimento na rede de nós e links aos quais o usuário está conectado. Dessa forma, limitações espaciais e temporais, ao longo do rio e em toda a bacia, podem ser consideradas. Além de atender ao balanço dos nós, descrito acima, os nós-fonte, que representam os reservatórios, devem respeitar os limites operacionais deles, tais como: volumes máximos, volumes *mínimos*, liberações etc.

Uma vez que os maiores reservatórios na região estudada têm capacidades limitadas de regularização em torno de 2 anos (considerando as demandas e séries temporais de escoamento), e o ano inicial (2011) foi bastante chuvoso, o modelo de otimização considerou os reservatórios, no início do triênio, com volumes máximos, e nos meses/anos seguintes, tendo seus valores calculados endogenamente pelo modelo de alocação com diferentes critérios de otimização.

Sob o contexto de escassez de água, iniciado em 2012, os impactos socioeconômicos regionais e setoriais das reduções das alocações sob diferentes critérios dos usuários da rede representativa das 4 bacias interligadas foram obtidos por meio da integração com dois diferentes tipos de modelos *economywide*: de Insumo-Produto (MIP) e de Equilíbrio Geral Computável (MEGC).

O HEAL possibilitou não apenas o desenvolvimento de modelos de otimização representando a alocação entre os usuários da área de estudo no período, seguindo diferentes critérios, mas também a conexão deles com os modelos *economywide*, através de um *soft link*. Dessa forma, os resultados de modelos de alocação com critérios de otimização hidrológicos, como maximização de armazenamento nos reservatórios ou minimização de não-atendimento das demandas, bem como aqueles que utilizaram indicadores econômicos, como eficiência no uso de água e de produtividade, puderam ser comparados quanto a

seus impactos setoriais e regionais. Como essas alocações podem representar os efeitos de diferentes instrumentos de gestão, tanto os regulatórios como os econômicos, tais instrumentos puderam ser assim também avaliados e comparados.

A primeira integração foi realizada com o auxílio da ligação das saídas dos modelos de otimização para a alocação de águas, com uma matriz inter-regional de insumo-produto (MIP) desenvolvida para a região das 4 bacias interligadas, a partir de uma MIP brasileira para 2011 (GUILHOTO *et al.*, 2010). A MIP inter-regional da área de estudo representou 76 setores econômicos em cada uma das 75 regiões de interesse⁵.

Vale acrescentar que a MIP não compartilha a mesma base de dados do modelo em redes, há, todavia, uma correspondência completa entre as informações das demandas da rede e os setores econômicos e regiões da MIP. Assim, as alocações de água bruta de cada nó de demanda (representativos dos usuários) da rede podem ser agregadas e associadas aos setores econômicos/ municípios da MIP de forma unívoca. A metodologia de integração utilizada foi a proposta em Santos (2020), que relaciona a redução no atendimento da demanda por água bruta (agregando as reduções no atendimento dos usuários por setor econômico e município), dada pelo modelo de alocação como um choque exógeno na MIP, para se obter a variação na produção de cada setor e no uso final dos consumidores.

Essa integração foi capaz de medir os impactos socioeconômicos setoriais e regionais ligados às decisões de alocação de água para cada usuário. Inicialmente, foram usados critérios hidrológicos nos modelos de otimização, de forma a representar a aplicação de instrumentos regulatórios (outorgas e prioridades). De forma inovadora (ALCOFORADO DE MORAES *et al.*, 2021), esses instrumentos foram avaliados por meio de indicadores socioeconômicos (PIB, valor da produção, empregos) e de eficiência hídrica (R\$/m³ ou Empregos/m³). Esses últimos *Water Use Efficiency* (WUE) puderam ser associados às metas do ODS 6, conforme recomenda a FAO (FAO, 2018).

5 A divisão regional incluiu Resto do Brasil, Resto do Nordeste, Bahia, Resto de Pernambuco, 68 municípios e três aglomerados municipais pertencentes às quatro bacias interligadas.

Os Modelos de Insumo-Produto (MIP) baseiam-se em relação linear entre insumos e produtos, e não respondem a preços, nem consideram a possibilidade de substituição entre fatores primários de produção. Essas são limitações que podem ser resolvidas utilizando-se MEGC. Por isso, a próxima modelagem integrada na plataforma foi a de MEGC. A mesma metodologia, que possibilitou a conexão dos modelos em rede com os Modelos de Insumo-Produto (ALCOFORADO DE MORAES *et al.*, 2021; SANTOS, 2020), foi também utilizada para a integração com os MEGC, já que esse é formulado a partir de uma Matriz de Insumo-Produto.

A integração dos MEGCs desenvolvidos foi a do tipo *soft (weak coupling)*, da mesma forma que a MIP, ou seja, uma agregação sem compartilhamento da base de dados, mas com completa correspondência dos dados econômicos e hidrológicos usados pelos modelos. Assim, as saídas dos modelos de otimização (alocações por nó de demanda) foram agregadas nas regiões e setores considerados pelo MEGC e usadas como entrada para ele, possibilitando a mensuração de impactos econômicos diretos, indiretos, sendo que agora segundo as premissas do MEGC.

Ademais, torna-se possível a mensuração de mudanças de preços relativos na economia associadas às diferentes estratégias de alocação simuladas pelos modelos de otimização. Valores econômicos da água bruta e tratada também podem ser obtidos, bem como uma alocação econômica ótima, e os impactos socioeconômicos associados a esta última. Essa realocação, ótima do ponto de vista econômico, é importante, pois representa uma distribuição da água, em que os próprios agentes decidem o quanto passarão a usar diante da escassez e de valores econômicos maiores da água resultantes dessa escassez. Ela pode simular os efeitos de instrumentos econômicos que induzam os agentes a usarem a água de forma mais eficiente.

Inicialmente, foi desenvolvido um MEGC para a área de estudo como uma região única (SOUZA, 2022), com 58 setores econômicos, obtida a partir da agregação das regiões e setores da MIP já disponibilizada na plataforma (76 setores econômicos e 75 regiões). Em seguida, foi desenvolvido um MEGC com quatro regiões, dividindo a região formada pelas 4 bacias interligadas em duas: a seca, que apresentou municípios com maior eficiência no uso da água e menor estresse hídrico das bacias a que pertencem e a úmida (ALCOFORADO DE

MORAES *et al.*, 2021), menos eficiente no uso da água e com maior estresse hídrico; o resto de Pernambuco e o Resto do Brasil. Esse último MEGC manteve os mesmos 76 setores econômicos da MIP, em cada uma dessas regiões, e utilizou seis fatores primários de produção: capital 1, capital 2, trabalho, terra irrigável, terra de sequeiro e água bruta (água “azul”).

Na região úmida dada pela porção final da bacia do Capibaribe, Bacia do Sirinhaém e porção Leste da Bacia do Ipojuca, a mesma região em que predomina a cultura da cana-de-açúcar e a indústria sucroalcooleira, observou-se necessidade de gestão de recursos hídricos, por esta apresentar baixa eficiência no uso da água e pertencer a bacias que apresentam elevado estresse hídrico.

Completamente integrado à plataforma de modelos, foi possível aplicar sobre esse último MEGC as mesmas reduções no uso de água por setor e região do modelo em redes (alocação hidrológica), o que permitiu calcular os impactos socioeconômicos da referida alocação, dessa feita utilizando as premissas de um MEGC, que, diante de choques exógenos, altera preços relativos e substitui fatores primários.

Ademais, utilizando-se a mesma redução global de alocação da água bruta, dada pelo modelo em redes para aumentar a segurança hídrica e reduzir o atendimento das demandas (critério hidrológico), foi possível obter endogenamente as reduções no uso que cada setor e região decidiria fazer diante da maior escassez do recurso e, portanto, dos maiores valores econômicos, o que representaria uma alocação econômica ótima. (GUEDES, 2023).

Assim, o que representou, por meio da modelagem, o critério hidrológico, foram os choques específicos setor a setor por ele impostos. Eles foram definidos de forma exógena ao MEGC. Pode-se considerar que tais valores de uso por setor e região são os valores alocados pela regulamentação, compatível com instrumentos de comando e controle. Já no critério econômico utilizou-se a mesma redução de atendimento total das demandas, como trade-off, para armazenar mais água nos reservatórios no período de escassez na área de estudo, mas agora cada setor/região por si resolve quando usar o recurso de forma a maximizar o seu lucro. Tal alocação é definida endogenamente pelo MEGC e pode representar o uso de instrumentos baseados em mercado, pois são esses tipos de instrumentos que induzem à mudança de comportamento dos agentes econômicos.

Os resultados detalhados de ambas as integrações, com o MIP e o MEGC, encontram-se nas referências citadas no início dessa seção. Algumas das conclusões obtidas com os resultados encontram-se na seção abaixo intitulada *Principais conclusões*.

A MONTAGEM E O DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS EM REDE

O Grupo de Apoio à Gestão Econômico-Integrada (GAPGEIn) é um grupo multidisciplinar da UFPE certificado no diretório dos grupos de pesquisa do CNPq (http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf), que busca fornecer subsídios para o estabelecimento de políticas públicas relacionadas à gestão de recursos hídricos, utilizando o conceito de Gestão e Alocação Integrada de Recursos Hídricos (GAIRH).

Desde sua formação, em 2007, o grupo tem desenvolvido modelos e sistemas automatizados baseados na teoria econômica para auxiliar na tomada de decisão sobre a alocação de água dentro de uma bacia. A coordenadora geral do projeto e líder do GAPGEIn já coordenou outros projetos de pesquisa, adquirindo equipamentos e desenvolvendo modelos econômico-integrados para importantes bacias brasileiras. Para alcançar os objetivos do projeto atual, que envolveu a integração de modelos de alocação de águas com modelos econômicos mais abrangentes (*economywide*), o grupo buscou parcerias com outros grupos de pesquisa especializados em modelos de insumo-produto e modelos de Equilíbrio Geral Computável.

O Grupo do Instituto de Economia da UNICAMP tem se dedicado à questão do desenvolvimento econômico sustentável associado à produção de bioenergia, utilizando análise de insumo-produto e modelos de equilíbrio geral computável. O professor Marcelo Pereira da Cunha, especialista em modelos insumo-produto e MEGC, integrou a rede de pesquisa e foi responsável por regionalizar a MIP para a área de estudo com 76 setores econômicos e 75 regiões. A proposta metodológica e integração da MIP com os modelos de alocação de águas foram desenvolvidas em duas teses de doutorado. SANTOS (2020; DIAS, 2023)

A UFPB participou da rede por meio dos programas de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental e Economia, além do Laboratório de Estudos em Microeconomia Aplicada. A área de Recursos Hídricos e Saneamento do PPGE-CAM desenvolveu a modelagem hidroeconômica e hidrológica em parceria com a UFPE, resultando em modelos de alocação de águas para a área.

O *HEAL System* possibilitou o desenvolvimento e a integração desses modelos com os *economywide*. O PPGE e o LEMA também contribuíram com diversos campos da Microeconomia, incluindo os Modelos de Equilíbrio Geral Computável e as bases de dados que os suportam. Sob a liderança de Ignácio Tavares, desenvolvemos um MEGC para a área de estudo com 58 setores econômicos em região única, calibrada usando a MIP regionalizada pela UNICAMP.

A rede de pesquisa buscou integrar os grupos da UNICAMP, UFPB e UFPE, com expertise em diferentes modelagens econômicas, para criar uma plataforma de modelos que apoiasse a avaliação de políticas públicas na gestão de recursos hídricos seguindo os princípios da GAIRH. As teses desenvolvidas foram orientadas em parceria com professores de diferentes programas de pós-graduação, tornando o projeto verdadeiramente interdisciplinar.

A continuidade da pesquisa nessa área é esperada nos programas da UNICAMP e UFPB, cujos pesquisadores agora integram o GAPGEIn, que, antes, era composto quase exclusivamente por pesquisadores da UFPE. Além disso, espera-se que os novos mestres e doutores formados com essa abordagem interdisciplinar possam influenciar outros programas de pós-graduação a incorporarem a modelagem de apoio à gestão de recursos hídricos em suas pesquisas.

O DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS EM REDE

O projeto começou com a participação da coordenadora geral e coordenadores associados em um seminário promovido pela Agência Nacional das Águas (ANA) para acompanhar os projetos apoiados pela Chamada 16/2017. Após a liberação dos recursos, foi realizado o 1º *Workshop* do projeto em Recife, com participação remota de especialistas da agência estadual de águas e da ANA. O objetivo foi apresentar o projeto a profissionais e especialistas da área de gestão de recursos hídricos do estado.

Por ser interdisciplinar e interinstitucional, com foco na integração de diferentes modelagens econômicas, o projeto teve reuniões técnicas frequentes com pesquisadores e pós-graduandos das três universidades envolvidas. Foram realizadas seis Reuniões de Modeladores em diferentes locais, com participação da ANA em algumas delas, para apresentação e discussão dos resultados. Também houve uma missão internacional aos EUA e participações em dois simpósios de recursos hídricos, sendo que, em 2021, uma sessão especial foi proposta e aceita, tendo os primeiros resultados da integração de modelos sido apresentada no mesmo.

OBJETIVO

Desenvolver e disponibilizar uma plataforma de modelos econômico-integrados para apoiar a definição e avaliação de políticas de alocação de águas, visando desenvolvimento econômico sustentável.

RESULTADOS ALCANÇADOS

Foram desenvolvidos dois tipos de modelos econômicos: modelos de otimização para alocação de águas e modelos *economywide* como os modelos de Insumo-Produto (MIP) e modelos de equilíbrio geral computável (MEGC). A integração desses modelos foi realizada por meio do *HEAL System*, cujo modelo conceitual, arquitetura e funcionalidades foram desenvolvidos anteriormente (SOUZA SILVA; ALCOFORADO DE MORAES, 2021). Neste estudo, a ferramenta foi expandida, de forma não apenas a incorporar quatro importantes bacias do agreste pernambucano na base de dados espacial, bem como de possibilitar o desenvolvimento e a integração dos modelos de alocação com os modelos *economywide*, desenvolvidos para a mesma região. A ferramenta de avaliação de políticas *HEAL System* está, atualmente, na sua terceira versão, tendo seu modelo conceitual, lógico e físico sido aperfeiçoado e novas funcionalidades desenvolvidas durante este projeto. Ainda como resultados e objetivos específicos alcançados podemos citar:

- I. Desenvolvimento de modelos de alocação de águas com diferentes critérios de otimização: hidrológicos, eficiência no uso da água, associados às metas do ODS 6, conforme recomendações da FAO (FAO, 2018) e de produtividade (OECD, 2021) acoplados fortemente a uma base de dados espacial com informações hidrológicas e econômicas de uma rede de nós e links com mais de 700 nós, representativa das quatro bacias interligadas do Agreste pernambucano (Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém e Una). As restrições, atualmente implementadas nos modelos são hídricas, (de quantidade), operacionais (de reservatórios) e institucionais (prioridades). As restrições de qualidade estão em desenvolvimento no escopo de um projeto de tese já aprovado. Esses modelos foram desenvolvidos e estão disponíveis no sistema HEAL numa parceria entre a UFPE e a UFPB.
- II. Desenvolvimento de uma Matriz de Insumo-Produto (MIP) inter-regional de nível municipal com 75 regiões e 76 setores para as quatro bacias interligadas do Agreste pernambucano. Os setores e regiões foram agregados a partir de matriz original de nível nacional, de forma a haver correspondência total entre aqueles associados aos usos da água identificados na área de estudo e representados nos modelos de alocação numa parceria entre a UNICAMP e a UFPE A integração dos resultados dos modelos de alocação com a MIP foram viabilizadas através de um *soft link* no *HEAL System*.
- III. Desenvolvimento de um MEGC com 58 setores econômicos e quatro tipos de famílias representativos da região das 4 bacias interligadas do Agreste pernambucano desenvolvido pelo grupo da UFPB.
- IV. Desenvolvimento de um segundo MEGC com quatro regiões dividindo a região formada pelas 4 bacias interligadas em duas: a seca, que apresentou municípios com maior eficiência no uso da água e menor estresse hídrico das bacias a que pertencem e a úmida, (ALCOFORADO DE MORAES *et al.*, 2021), menos eficiente no uso da água e maior estresse hídrico; o resto de Pernambuco e do Brasil. Esse MEGC manteve os mesmos 76 setores econômicos da MIP em

cada uma dessas regiões, e utilizou seis fatores primários de produção: capital 1, capital 2, trabalho, terra irrigável, terra de sequeiro e água bruta (água “azul”). O desenvolvimento e integração dos modelos de alocação com o MEGC foram realizados numa parceria entre a UNICAMP e a UFPE.

- v. Novas funcionalidades do HEAL System desenvolvidas, possibilitando a integração dos modelos bem como a disponibilização dos seus resultados, dando apoio não apenas aos modeladores, mas também a tomadores de decisão. O desenvolvimento do HEAL está sendo feito numa parceria entre a UFPE e a UFPB.

IMPACTOS

Nosso projeto entrega uma plataforma de modelos hidrológicos e econômicos, de diferentes tipos, integrados, capaz de apoiar os processos de tomada de decisão em políticas de alocação dos recursos hídricos de uma forma inovadora. A pesquisa amplia o alcance das investigações interdisciplinares tradicionais perpassando áreas de conhecimento que abrangem as engenharias, a geografia e as ciências sociais aplicadas. Por meio do desenvolvimento de novos modelos e da incorporação desses aos já desenvolvidos, numa mesma plataforma de Sistema de Apoio a Decisão Espacial (HEAL SYSTEM), entrega-se uma ferramenta de avaliação de políticas para a próxima geração, amplamente aplicável a regiões onde a escassez de água e os conflitos se fizerem presentes.

Nossa estratégia educacional buscou: i) prover treinamento em habilidades multidisciplinares de pesquisa e formação necessária para desenvolver futuros cientistas, educadores e gestores que compreendam a complexidade da gestão da demanda por água e sejam proficientes em formular soluções e encarar os desafios da área de recursos hídricos em um mundo em constante mudança; ii) aperfeiçoar os professores e estudantes na gestão, estudo e comunicação de modelos integrados sob diversos critérios: regional-local; econômico- hidrológico e social e iii) criar, manter e aprimorar conexões entre indivíduos e grupos de pesquisa que estudam as diversas dimensões do problema da água. O Brasil, especialmente a região Nordeste e o estado de Pernambuco, com investimentos

consideráveis em infraestrutura de engenharia já feita como canais, adutoras, estações de bombeamento e reservatórios, e outros ainda em andamento devem beneficiar-se da definição de políticas públicas que aumentem a eficiência do uso da água. A ferramenta deve potencializar maior interação entre modeladores, tomadores de decisão e a sociedade, tornando transparente os impactos do uso de diferentes instrumentos e políticas de alocação de recursos hídricos.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

O Projeto proporcionou a formação de recursos humanos, produção científica e tecnológica, apresentação de trabalhos completos em eventos e a produção de *software* e modelos. Foram concluídas 1 dissertação de mestrado, 4 teses de doutorado, treinamento de 3 pós-doutorados além de 6 monografias de iniciação científica. Em relação à produção científica e tecnológica foram 4 artigos publicados em revistas científicas, 1 capítulo de livro, 6 apresentações de trabalhos completos em eventos nacionais e 3 em eventos internacionais, 3 *Software* e modelos, além de diversos projetos aprovados e financiados.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

MARIA VITÓRIA FABBIO CARROCINI. *Insegurança alimentar e insegurança hídrica: algumas evidências a partir do estado de Pernambuco*, UNICAMP (2023).

<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=556351>.

DOCTORADO

REINAN RIBEIRO SOUZA SANTOS. *Aoplamento de modelo de alocação de água baseado em rede à modelagem de insumo-produto: uma proposta metodológica e aplicação em bacias hidrográficas interligadas do agreste pernambucano*", UFPE (2020).

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39834>

HELSON GOMES DE SOUZA. *Avaliação dos efeitos da disponibilidade hídrica no estado de Pernambuco: Uma abordagem usando Equilíbrio Geral Computável*, UFPB (2022).

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24188>

ANDREI LIMA E SILVA. *Otimização multiobjetivo de precificação para sistemas de abastecimento de água urbanos*, UFPB (2022).

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46706>

BRUNO NUNES GUEDES. *Integração de um modelo de alocação baseado em Redes com um modelo de Equilíbrio geral computável: um estudo de caso em bacias interligadas no agreste de Pernambuco*, UFPE (2023).

PÓS-DOCTORADOS

MARJORIE MENDES GUARENGHI (UNICAMP). *Agricultural land suitability zoning as a tool to guide water allocation policies in semi-arid Northeastern Brazil* (2019).

EWERTON FELIPE DE MELO ARAÚJO (UFPE). *Integração do MAGPIE a modelos econômicos integrados para apoio a decisão em políticas de alocação de águas num contexto de mudanças climáticas e socioeconômicas*, (2021).

TEREZINHA DE FÁTIMA CARDOSO (UNICAMP). *Avaliação dos impactos socioeconômicos decorrentes das estratégias de alocação, distribuição e acesso à água no Agreste de Pernambuco*, (2022).

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

CANDIDO, L. A.; COELHO, G. A. G.; ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G.; FLORÊNCIO, L. *Review of Decision Support Systems and Allocation Models for Integrated Water Resources Management Focusing on Joint Water Quantity-Quality*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 148, n. 2, 2022. <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0001496>.

DE MORAES, M. M. G. A.; DA SILVA; G. N. S.; CUNHA, M. P.; DIAS, N. B. M.; CARDOSO, T. F.; GUILHOTO, J. J. M.; CANDIDO, L. A.; SANTOS, R. R. S. *Integration of a Network-Based and an Economy-Wide Water Model to Support Decision Making on Water Resources Planning and Management in Northeastern Brazil*. *Frontiers in Water*, v. 3, p. 1–22, 5 out. 2021. <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2021.681723/full>.

DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A.; CANDIDO, L. A.; AMORIM FILHO, C. A. G.; DIAS, N. B. M.; CUNHA, M. P.; FLORÊNCIO, L. *IWRM Incorporating Water Use*

and Productivity Indicators of Economic Clusters Using a Hydro-Economic SDSS. *Hydrology*, v. 10, n. 3, 1 mar. 2023. <https://www.mdpi.com/2306-5338/10/3/72>.

DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A. Decision Support for the (Inter-) Basin Management of Water Resources Using Integrated Hydro-Economic Modeling. *Hydrology*, v. 8, n. 1, p. 42, 2021. <https://www.mdpi.com/2306-5338/8/1/42>.

GUARENGHI, M. M.; DA CUNHA, M. P.; DE MORAES, M. M. G. A.; BARROS, A. H. C. *Agricultural land suitability for rainfed and irrigated crop cultivation in a semi-arid region of Northeastern Brazil*. Márcia M.G. *Revista Desarrollo Local Sostenible*. (2024).

CAPÍTULO DE LIVRO

DE MORAES, M. M. G. A.; DA SILVA, G. N. S.; DA CUNHA, M. P.; TAVARES JR., I. (2024). *Hybrid Economic Models for managing Integrated Water Resources Allocation as a Wicked Water Problem*. In: *Elgar Encyclopedia of Water Policy, Economics and Management*. Elgar Encyclopedias Publishing.

APRESENTAÇÃO DE

TRABALHOS COMPLETOS EM EVENTOS NACIONAIS

Acoplamento de modelo de alocação de água baseado em rede à modelagem de insumo-produto para avaliação de instrumentos de gestão regulatórios: proposta metodológica e primeiros resultados em bacias interligadas do agreste pernambucano. REINAN RIBEIRO SOUZA SANTOS, MARCIA MARIA GUEDES ALCOFORADO DE MORAES, MARCELO PEREIRA DA CUNHA, GERALD NORBERT SOUZA DA SILVA E NILENA DIAS. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH) – Belo Horizonte, MG, Brasil, 2021.

Cobrança pelo Uso da Água Bruta para Irrigação na Agricultura: Uma Análise de Equilíbrio Geral. BRUNO NUNES GUEDES, PABLO DADALTI BORBA BARROSO E MARCELO PEREIRA DA CUNHA. In: XXIV SBRH – Belo Horizonte, MG, Brasil, 2021.

Avaliação de estratégias de alocação de águas e instrumentos de gestão associados usando integração de modelos e metas de eficiência do ods6: O Caso do Agreste Pernambucano em período de escassez hídrica. Autor(es): MARCIA MARIA GUEDES ALCOFORADO DE MORAES, GERALD NORBERT SOUZA DA SILVA, MARCELO PEREIRA DA CUNHA, NILENA DIAS, TEREZINHA DE FATIMA CARDOSO, JOAQUIM J. M. GUILHOTO, LAÍSE ALVES CANDIDO, REINAN SANTOS E MARIA DE LOURDES FLORÊNCIO. In: XXIV SBRH – Belo Horizonte, MG, Brasil, 2021.

Alocação econômica ótima numa plataforma integradora de modelos para apoio a decisão na definição de instrumentos de gestão baseados em mercado.

FIGUEIREDO, L. E. N.; MORAES, MARCIA M. G. A. (2021). *In: XXIV SBRH – Belo Horizonte, MG, Brasil, 2021.*

Análise de sensibilidade socioambiental da expansão da agricultura irrigada no agreste pernambucano. Torres, V. G. DE M.; DE MORAES, M. M. G. A.; DA SILVA, G. N. S. (2021) *In: XXIV SBRH – Belo Horizonte, MG, Brasil, 2021.*

HEAL - um Sistema de Apoio a Decisão Espacial na alocação de água incorporando modelos hidro-econômicos. DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A. *In: XXIV SBRH – Foz do Iguaçu – PR, Brasil, 2019.*

EVENTOS INTERNACIONAIS

The Impacts of global climate and biofuel demand changes on the availabilities and economic values of water in Northeast of Brazil. ARAUJO, E. F.; DE MORAES, M. M. G. A. *In: AGU Frontiers in Hydrology, San Juan. 2022.*

Oral Sessions: *Integrated Water Resources Allocation Management (IWRAM) incorporating FAO Water use efficiency and OECD Productivity Indicators: Managing a wicked problem.* AMORIM FILHO, C. A. G.; DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A.; DIAS, N.; CUNHA, M. P. *In: AGU Frontiers in Hydrology, San Juan. 2022.*

Hydroeconomic Spatial Decision Support for Water allocation using water use and productivity indicators.” DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A.; CANDIDO, L. A.; DIAS, N.; CUNHA, M. P. *In: PANTHA Rhei Symposium, Potsdam. Germany. GFZ German Research Centre for Geosciences. 2023.*

PRODUTOS (SOFTWARE E MODELOS)

HEAL VERSÃO 3.0 com modelos de otimização disponibilizados para a área de estudo com os seguintes critérios: armazenamento dos reservatórios, atendimento das demandas, eficiência no uso; clusters com índices de empregos.

MIP para a área de estudo com 76 setores econômicos e 75 regiões; **MEGC** para a área de estudo com 58 setores econômicos e 1 região.

MEGC para a área de estudo com 76 setores econômicos e 4 regiões.

PROJETOS APROVADOS E FINANCIADOS DURANTE A VIGÊNCIA DO PROJETO

Resolução de conflitos na alocação de água em bacias interligadas utilizando a modelagem participativa com o envolvimento das principais partes interessadas na gestão de recursos hídricos. Projeto aprovado no programa CAPES/FACEPE nº 01/2017.” (2017-2018) Coordenadora: **MÁRCIA ALCOFORADO** (Financiamento de Missão a Washington);

Apoio a decisão na alocação eficiente das águas através de uma gestão integrada de recursos hídricos enfatizando aspectos sociais associados à pobreza e qualidade ambiental. Projeto aprovado em edital de Apoio à formação de doutores em áreas estratégicas. (Chamada Pública CNPQ nº 01/2019). Coordenadores: **MÁRCIA ALCOFORADO/MARCELO CUNHA** (Financiamento de 2 bolsas sanduíche na UFPE com 1 ano de sanduíche na UNICAMP);

Apoio a Decisão na definição de políticas públicas de alocação de águas usando modelagem participativa através de ferramenta automatizada com modelos econômico-integrados. Projeto aprovado CNPq no. 26/2021 - Apoio à Pesquisa Científica, Tecnológica e de Inovação: Bolsas no Exterior. Coordenadora: **MÁRCIA ALCOFORADO**. (Financiamento de 2 bolsas de pós-doutorado no exterior (6 meses) e 1 bolsa doutorado-sanduíche no exterior (6 meses));

Estratégias de inovação para alcançar eficiência hídrica diante de políticas públicas de águas para o setor industrial voltadas ao desenvolvimento socioeconômico sustentável no Agreste Central”. Coordenador: **CARLOS AMORIM FILHO**. Proposta aprovada em Edital FACEPE - 02/2022 Credenciamento de Ambientes para Inovação em Pernambuco -Lócus de Inovação 2022.

PROJETOS DE TESE DE DOUTORADO APROVADOS

ÂNGELO ANTÔNIO PAULA DA CUNHA (UFPE). *uma matriz de contabilidade social ambiental de classes de renda: ensaios nacional e regional para o uso da água, geração e tratamento de esgoto para mensurar impactos socioeconômicos,* (2023).

LAÍSE ALVES CANDIDO (UFPE). *network-based model integrating water quantity and quality in an economic-integrated modeling platform: case of 4 interconnected basins in Pernambuco, northeast of Brazil,* (2023).

NILENA DIAS (UNICAMP). *Uma abordagem integrada do nexos entre impactos socioeconômicos e alocação de água no setor sucroenergético no estado de Pernambuco - Nordeste do Brasil,* (2022).

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A primeira integração de modelos realizada foi entre os modelos de otimização para alocação de águas e a matriz inter-regional de insumo-produto (MIP) desenvolvida para a região das 4 bacias interligadas. Essa integração permitiu associar as reduções no atendimento da demanda por água bruta a variações nas produções, PIB e empregos de setores econômicos e regiões durante um período de escassez.

Os resultados mostraram que a aplicação dos atuais instrumentos regulatórios durante épocas de escassez leva a maiores perdas econômicas e sociais em regiões mais industrializadas com maiores PIBs, que são mais eficientes no uso da água. Posteriormente, ao incluir prioridades no atendimento dos usuários baseadas na eficiência e produtividade, foi possível reduzir alocações para irrigação de cana e indústria sucroalcooleira, evitando o uso de volumes armazenados em reservatórios das regiões secas para atender regiões mais úmidas e setores mais intensivos em água, (SOUZA DA SILVA; ALCOFORADO DE MORAES, 2021).

Os resultados da integração com o MEGC permitiram mensurar os impactos econômicos diretos e indiretos regionais das alocações baseadas nos critérios hidrológicos. Além disso, com essa integração, obteve-se uma alocação econômica ótima e conseguiu-se avaliar os impactos socioeconômicos associados a ela. Essa alocação ótima representa uma distribuição da água em que os próprios agentes decidem quanto usar diante da escassez e dos valores econômicos resultantes. Essa alocação simula instrumentos econômicos pois são os mesmos que induzem os agentes econômicos a usarem a água de forma mais eficiente.

Notavelmente, houve ganhos significativos de eficiência na agricultura da região seca e na indústria e serviços da região úmida, mostrando que esses setores conseguem aumentar sua eficiência com incentivos adequados. Esse resultado é importante, pois, inicialmente, a região úmida apresentava valores de eficiência muito baixos no cenário base.

Maior conhecimento e uso de modelos econômico-integrados, para apoiar o gerenciamento de recursos hídricos em regiões como a do nosso estudo de caso, deve ser buscado. Da mesma forma que o Agreste pernambucano, outras regiões com balanços hídricos críticos e necessidades de transferência externas

crescentes devem se beneficiar do uso desse tipo de modelos para apoiar decisões no desenvolvimento de políticas de alocação de água sustentáveis.

Como base para propor reformas nas políticas de água, a plataforma integrada apresentada aqui, seus resultados atuais e os potenciais a serem obtidos, deve ampliar a visão dos formuladores de políticas em relação às escolhas de políticas de água que sejam efetivas para a implementação de um desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável.

PERSPECTIVAS

A integração de modelos econômicos traz elementos novos para o apoio à decisão, na gestão de recursos hídricos. Uma gestão de demanda efetiva, por meio da aplicação de políticas públicas que realmente induzam a eficiência econômica e evitem os conflitos decorrentes do uso de abordagens exclusivamente orientadas a oferta, torna-se possível. Isso porque o desenho e a avaliação de instrumentos de gestão para a alocação da água entre usuários e setores econômicos, através desse tipo de modelagem, passam a ser baseados na teoria econômica.

As políticas de alocação, atualmente utilizadas (outorgas e cobrança) e as relativas às questões ambientais – enquadramento e vazões ecológicas – bem como as que estão sendo propostas mediante modificações na legislação brasileira (mercados de água), poderão ser avaliadas segundo seus impactos e indicadores socioeconômicos regionais e de quão efetivas podem ser na implementação de um desenvolvimento econômico sustentável.

Um projeto já aprovado no edital 26/2021 e em desenvolvimento com bolsas no exterior visa continuar e expandir o Sistema de Apoio a Decisão Espacial (SADE - HEAL System), utilizado como plataforma para o desenvolvimento e integração dos modelos. A nova versão em desenvolvimento busca aprimorar o sistema, torná-lo mais modular e amigável, proporcionando uma interface interativa e automatizada. Nessa interface, os resultados associados aos diferentes instrumentos de gestão podem ser apresentados e comparados. Além disso, a modelagem participativa será incentivada, permitindo que os stakeholders e

decisores construam diferentes modelos de alocação com base em critérios de otimização e diferentes restrições, como as de qualidade de águas.

A modelagem participativa é um processo colaborativo de construção de modelos, que inclui não especialistas, visando a criação de uma visão coletiva de gerenciamento de recursos naturais. Essa é uma tendência crescente e tem como lógica subjacente a ideia de que, reunindo e integrando diversos conhecimentos e pontos de vista e construindo confiança, uma visão de gerenciamento coletivo pode ser criada diante de condições desafiadoras (ROBLES-MORUA *et al.*, 2014).

A perspectiva é que as novas funcionalidades da ferramenta HEAL possam ser um instrumento eficaz para a modelagem participativa, permitindo aos decisores autonomia na geração de novos modelos e facilitando a obtenção e comparação de resultados de forma amigável. Oficinas estão sendo planejadas para investigar a melhor forma de apresentar os *trade-offs* entre diferentes estratégias de alocação e as técnicas para mensurar como os resultados podem influenciar a participação, negociação e cooperação dos atores envolvidos no desenho das políticas de águas.

Em um novo projeto submetido ao CNPq (04/23) propõe-se a integrar resultados de modelos de análise global, o *Integrated Assessment Models* (IAMs) à plataforma HEAL. Essa integração permitirá utilizar projeções de modelos climáticos globais em diferentes cenários para apoiar a definição de regulações eficazes que evitem a deterioração dos recursos hídricos frente às forçantes globais, especialmente aquelas relacionadas ao aumento na produção agropecuária.

Essa abordagem permitirá avaliar estratégias de alocação de água considerando diferentes cenários climáticos e socioeconômicos globais em nível de bacias e sub-bacias. A integração dos modelos econômico-integrados com os resultados dos modelos de análise global é uma perspectiva importante de continuidade no âmbito deste projeto, que pode incorporar aos modelos existentes, a influência de forçantes globais nas decisões relativas às políticas de alocação de recursos hídricos no país. Isso constitui-se num aperfeiçoamento no planejamento e na gestão de recursos hídricos, que deve ser útil para evitar pressões de demandas internacionais em regiões já com escassez de água no país, garantindo disponibilidade e gestão sustentável da água para todos.

REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; LAIBSON, D.; LIST, J. *Economics*. [s.l.] Pearson, 2015.
- ANA. **Resolução Nº 411, de 22 de setembro de 2005**. 2005.
- ANA. **Uso da água na agricultura de sequeiro**. [s.l.:s.n.].
- BEUTLER, L. What to Do about Wicked Water Problems. *Arizona Water Resource - The Water Resources Center Quarterly Newsletter*, p. 3–6, 2016.
- BHATIA, R.; *et al.* Water in the economy of Tamil Nadu, India: More flexible water allocation policies offer a possible way out of water-induced economic stagnation and will be good for the environment and the poor. *Water Policy*, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2006.
- BIEWALD, A.; *et al.* Valuing the impact of trade on local blue water. *Ecological Economics*, v. 101, p. 43–53, 2014.
- BRASIL. **Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasil, 8 jan. 1997.
- CAI, X.; MCKINNEY, D. C.; LASDON, L. S. A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya Basin. *Water Resources Research*, v. 38, n. 6, p. 21-1-21–14, 2002.
- CANGO, P.; RAMOS-MARTÍN, J.; FALCONÍ, F. Toward food sovereignty and self-sufficiency in Latin America and the Caribbean: opportunities for agricultural complementarity. *Revista de Economía e Sociología Rural*, v. 61, n. 1, 2023.
- CASTILLO, R. M.; *et al.* Uncovering the green, blue, and greywater footprint and virtual water of biofuel production in Brazil: A nexus perspective. *Sustainability (Switzerland)*, v. 9, n. 11, 2017.
- CODEVASF. **Relatório de Gestão 2006**. Brasília: [s.n.].
- Da SILVA, G. N. S.; De MORAES, M. M. G. A. Decision Support for the (Inter-) Basin Management of Water Resources Using Integrated Hydro-Economic Modeling. *Hydrology*, v. 8, n. 1, p. 42, 2021.
- DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A. Economic water management decisions: trade-offs between conflicting objectives in the sub-middle region of the São Francisco watershed. *Regional Environmental Change*, v. 18, n. 7, p. 1957–1967, 19 out. 2018.
- De MORAES, M. M. G. A.; *et al.* **Hybrid Economic Models for managing Integrated Water Resources Allocation as a Wicked Water Problem**. Elgar Encyclopedias Publishing (In press), 2024. (Nota técnica).

De MORAES, M. M. G. A.; *et al.* Integration of a Network-Based and an Economy-Wide Water Model to Support Decision Making on Water Resources Planning and Management in Northeastern Brazil. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1–22, 5 out. 2021.

FALCONÍ, F.; RAMOS-MARTIN, J.; CANGO, P. Caloric unequal exchange in Latin America and the Caribbean. **Ecological Economics**, v. 134, p. 140–149, 1 abr. 2017.

FAO. **Progress on water use Efficiency - Global baseline for SDG 6 Indicator 6.4.1**. [s.l.: s.n.].

GUEDES, B. N. **Integração de um modelo de alocação baseado em redes com um modelo de equilíbrio geral computável: um estudo de caso em bacias interligadas no Agreste de Pernambuco**. Recife: UFPE, 2023.

GUILHOTO, J. J. M.; *et al.* Matriz de Insumo-Produto do Nordeste e Estados: Metodologia e Resultados (Input-Output Matrix of the Brazilian Northeast Region: Methodology and Results). **SSRN Electronic Journal**, p. 254, 2010.

GWP. **Catalyzing Change: A handbook for developing integrated water resources management (IWRM) and water efficiency strategies Produced by the Global Water Partnership (GWP) Technical Committee with support from Norway's Ministry of Foreign Affairs**. Stockholm, Sweden: [s.n.].

International Conference on Water and the Environment. **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development**. Disponível em: <http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm>. Acesso em: 9 fev. 2023.

OECD. OECD Productivity Statistics database Methodological Notes. **OECD Productivity Statistics Methodological notes**, 2021.

ROBLES-MORUA, A.; *et al.* Exploring the application of participatory modeling approaches in the Sonora River Basin, Mexico. **Environmental Modelling and Software**, v. 52, p. 273–282, fev. 2014.

ROSEGRANT, M. W.; BINSWANGER, H. P. Markets in tradable water rights: Potential for efficiency gains in developing country water resource allocation. **World Development**, v. 22, n. 11, p. 1613–1625, 1994.

ROSENTHAL, R. E. **GAMS — A User's Guide**. [s.l.: s.n.].

SANTOS, R. R. S. **Acoplamento de modelo de alocação de água baseado em rede à modelagem de Insumo-produto: uma proposta metodológica e aplicação em bacias hidrográficas interligadas do Agreste de Pernambuco**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

SCHMITZ, C.; *et al.* Blue water scarcity and the economic impacts of future agricultural trade and demand. **Water Resources Research**, v. 49, n. 6, p. 3601–3617, 1 jun. 2013.

YOUNG, R. A.; LOOMIS, J. B. **Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods**. 2nd. ed. [s.l.] Routledge, 2014.

**Rede de pesquisa para gestão de alto
nível dos recursos hídricos na
bacia do rio Formoso - TO**

Fernán Enrique Vergara Figueroa

Balbino Antônio Evangelista

Conceição de Maria Albuquerque Alves

Quirijn de Jong Van Lier

A bacia do rio Formoso possui características específicas do solo que permitem a utilização de sistemas de irrigação por inundação ou subirrigação. Com área de mais de 100.000 hectares plantados utilizando esses métodos, a demanda hídrica tornou-se extremamente alta, a ponto de o rio secar completamente e todas as outorgas terem sido suspensas por decisão judicial em 2016. Diante desse cenário, a UFT desenvolveu um sistema de monitoramento em tempo real das captações para irrigação, que revelou uso ineficiente da água na bacia. Isso motivou a criação de uma rede de pesquisa com o objetivo de propor técnicas e metodologias que promovessem uso mais racional da água. Essa rede gerou dados, informações e técnicas capazes de promover o uso mais eficiente da água, incluindo novas abordagens para o manejo da irrigação, modelagem da disponibilidade hídrica, análise do impacto das políticas públicas de incentivo à agricultura, avaliação de riscos climáticos e estudo do comportamento dos usuários em situações de conflito por meio de modelos baseados em agentes. Nossos estudos indicam que a adoção de técnicas mais eficientes de alocação da água e de irrigação podem proporcionar maior segurança hídrica para os usuários de água na bacia.

Palavras-chave: crise hídrica; modelos baseados em agentes; risco climático; outorga coletiva; irrigação econômica.

Em agosto de 2016, a bacia hidrográfica do rio Formoso (BHRF), localizada no Estado do Tocantins, enfrentou grave crise hídrica. Seus principais corpos hídricos secaram completamente, o que gerou grande repercussão na mídia nacional. As notícias mostraram o resgate de peixes e botos nos poucos resquícios de água que restaram nos leitos dos rios. Diante dessa situação, o Ministério Público do Tocantins (MPE-TO) ingressou com uma ação civil pública solicitando a imediata suspensão de captação de água para irrigação de todas as propriedades rurais da bacia. Essa medida gerou impasse significativo, que comprometeria a próxima safra de arroz a ser plantada em novembro daquele ano. No contexto desse impasse, o Tribunal de Justiça do Tocantins (TJTO) convocou a Universidade Federal do Tocantins (UFT), por meio do Instituto de Atenção às Cidades (IAC), para emitir parecer técnico sobre a crise hídrica e, posteriormente, apresentar possível solução.

O IAC/UFT, então, apresentou o que foi denominado de Solução “Gestão de Alto Nível - GAN”. Essa solução consistiu no desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real das captações da bacia, visando possibilitar uma fiscalização mais efetiva.

Por meio desse trabalho, foram identificados diversos fatores, incluindo a utilização pouco eficiente dos recursos hídricos pelos usuários de irrigação. Ficou evidente a necessidade de compreender a dinâmica dos problemas relacionados à crise hídrica na bacia, bem como desenvolver métodos e técnicas para gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

A BHRF tem entorno de 100.000 hectares de área plantada, que no período chuvoso recebe o plantio de arroz, com irrigação por inundação e no período seco ocorre predominantemente o cultivo de soja para produção de semente, por meio da subirrigação. Esses sistemas de irrigação são conhecidamente de baixa eficiência e demandam grande quantidade de água, aliado à expansão da

área irrigada, principalmente entre 2010 e 2015, e a períodos com precipitação abaixo das médias históricas, a crise hídrica se instala em 2016 com o seccionamento do rio em vários pontos.

A partir dessa situação problema, foi construída esta rede de pesquisa visando o uso mais eficiente da água na BHRF, em que a UFT, pelo programa de pós-graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR), entrou com seu conhecimento do problema e abordaria questões territoriais da bacia, como o uso e ocupação e seu impacto na crise hídrica e suas consequências para o futuro dessas atividades que dependem de água. A UnB, por meio do programa de Tecnologias Ambientais e Recursos Hídricos (PTARH) abordou questões referente a alocação de água na bacia e metodologias de gestão dos recursos hídricos. A EMBRAPA Pesca e Aquicultura, participou dentro de um contexto de análise de risco climático para as culturas da bacia visando a melhor condição de plantio em relação à disponibilidade hídrica e o Centro de Estudos Nucleares na Agricultura (CENA/USP) colaborou com pesquisas em formas de melhor manejo da água para irrigação. A figura 1 mostra como foi estruturada a rede para o desenvolvimento da pesquisa, a partir de abordagens específicas, para o mesmo foco, apoiar a gestão sustentável dos recursos hídricos da bacia do rio Formoso.

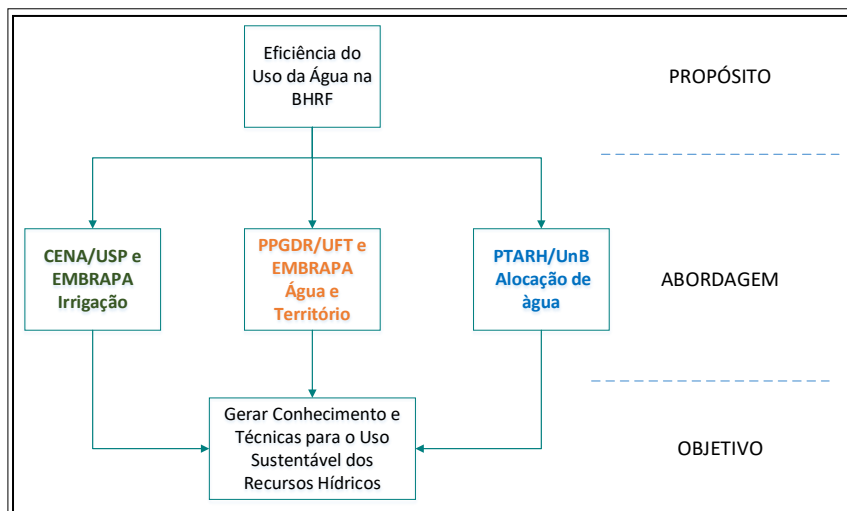


Figura 1. Esquema de desenvolvimento das pesquisas desta Rede.

Durante o desenvolvimento da pesquisa foi constatado que o rio Javaés, braço menor do rio Araguaia, curso de água onde o rio Formoso deságua, enfrenta diversos impactos em sua disponibilidade hídrica, principalmente devido a processos erosivos. Diante desse cenário, consideramos relevante realizar estudos sobre a dinâmica desses processos, uma vez que existem projetos de irrigação que dependem tanto do rio Javaés quanto do rio Formoso como fonte de captação de água. Todas as pesquisas realizadas nesta rede foram conduzidas na BHRF (Figura 2).

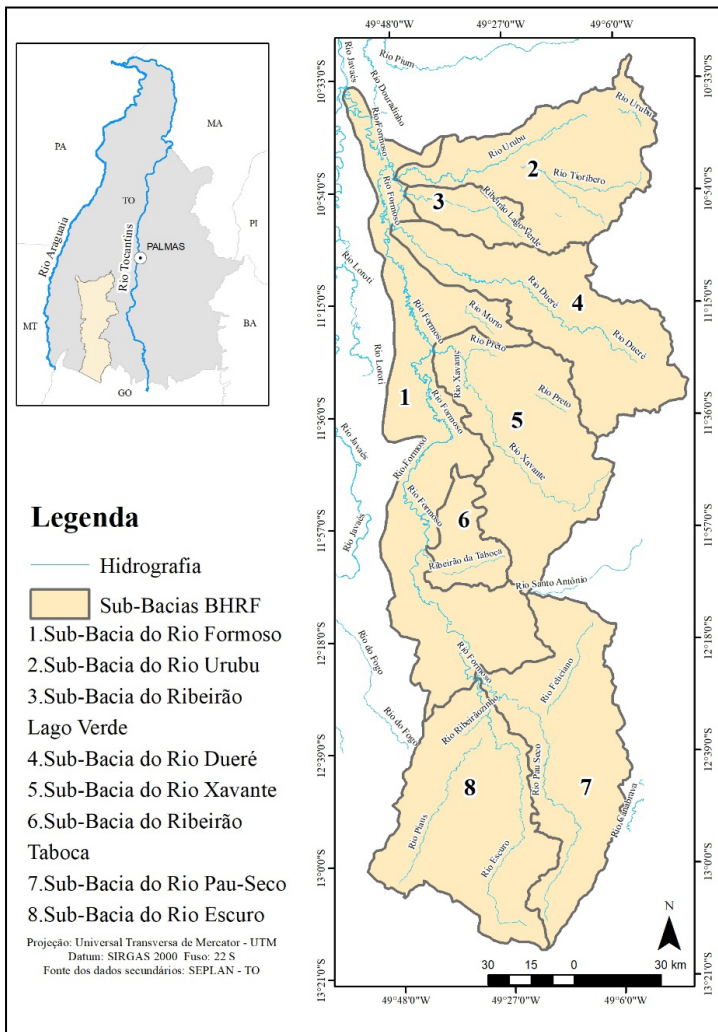


Figura 2. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Formoso

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver instrumentos, metodologias e tecnologias para o uso mais eficiente dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Formoso com foco no uso da água para a irrigação.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Propor métodos para auxiliar no processo de outorgas na bacia;
- II. Propor metodologias para o desenvolvimento regional a partir de restrições hídricas;
- III. Propor técnicas e metodologias de irrigação para o uso mais eficiente da água.

IMPACTOS

No ano de 2018, quando efetivamente as atividades da rede começaram a ser desenvolvidas, o cenário dos recursos hídricos na BHRF era extremamente complexo e desafiador. O uso da água estava envolvido em processos judiciais, e o Ministério Público do Tocantins (MPE-TO) havia instaurado ação civil pública contra o Estado do Tocantins e o órgão ambiental responsável pela fiscalização do uso dos recursos hídricos. Todas as decisões relativas ao uso da água necessitavam ser avaliadas pelo Tribunal de Justiça do Tocantins (TJTO), e eventualmente eram discutidas em audiências públicas. Esse processo mostrou que o uso água na BHRF passou a ser questão judicial devido a problemas, principalmente, de Gestão dos Recursos Hídricos, tanto por parte do órgão fiscalizador como por parte dos usuários. Assim, sendo, vimos a necessidade de abordar alguns aspectos, ou seja, como entender quais os fatores que levaram a essa situação, como o poder judiciário estava lidando com essa situação e o que poderia ser proposto, de diferente, para a situação então encontrada.

Dentro do contexto apresentado sobre a formação da Rede, inicialmente destacam-se as pesquisas conduzidas pela UFT em parceria com a EMBRAPA Aquicultura e Pesca, que resultaram em cinco dissertações de mestrado e uma tese de doutorado.

A partir da década de 1980, a região da BHRF começou a receber os primeiros projetos de agricultura irrigada, concentrados principalmente no cultivo de arroz. Devido à presença de uma extensa planície inundada, essa região tornou-se atrativa para esse tipo de atividade. Por volta de 2006, as políticas de segurança alimentar do Governo da China geraram aumento significativo na demanda por determinados grãos, como a soja. Aproveitando essa oportunidade, o Brasil passou a investir intensamente no setor de *commodities* agrícolas. A partir de 2010, teve início grande expansão das áreas de plantio de soja na região da BHRF, e essa expansão tem aumentado a cada ano desde então.

Observou-se relação direta entre essa expansão das áreas de plantio e a disponibilidade de crédito rural para financiar as safras. No entanto, constatou-se que, embora esse tipo de crédito exija adequações ambientais, como licenciamento e outorga para o uso da água, não existem mecanismos para avaliar o efeito sinérgico desses financiamentos na mesma bacia hidrográfica.

No período de 2010 a 2016, houve significativa disponibilidade de crédito rural para o financiamento do plantio na BHRF. Isso resultou em aumento proporcional na demanda por água, o que pode ter sido um dos fatores que contribuíram para a crise hídrica de 2016. Consideramos importante que as políticas públicas de financiamento agrícola, especialmente por parte de instituições financeiras públicas, sejam mais criteriosas em relação às outorgas para o uso da água, levando em consideração o contexto coletivo quando se trata da mesma bacia hidrográfica.

Ao analisar os estudos sobre a evolução do uso e ocupação da bacia, constatamos que a expansão da área plantada de soja atingiu seu limite em 2014, pouco antes da crise hídrica de 2016. Entre 2016 e 2017, quando o MPE-TO ingressou com uma ação civil pública, a área plantada de culturas temporárias, como a soja, foi reduzida à quase a metade. No entanto, a partir de 2018 e 2019, a área plantada voltou a aumentar, atingindo patamares semelhantes aos de 2014.

A crise hídrica de 2016 gerou grande insegurança tanto em termos hídricos quanto jurídicos para os produtores rurais da BHRF. Os bancos financiadores, devido a essa instabilidade, reduziram a disponibilidade de crédito, o que resultou em diminuição na área plantada na região. Em 2018, com a implementação do sistema de monitoramento das captações de água, houve aumento na área plantada na BHRF, retornando aos níveis observados em 2014. No entanto, não houve crescimento além do limite registrado em 2014.

Esses fatos podem indicar que, inicialmente, considerando os métodos de irrigação e a forma atual de gestão da água, pode-se ter atingido o limite físico da área plantada em relação à disponibilidade hídrica. Embora ainda existam áreas aptas para o plantio, é provável que não haja água suficiente para sustentar o aumento da produção, pelo menos da forma como é realizada atualmente.

Com a judicialização do uso da água na BHRF, o TJTO, convocou a UFT, para ser amigo da corte (*amicus curiae*) nesse processo, cuja principal função seria assessorar o tribunal de justiça em questões técnicas de gestão dos recursos hídricos. A UFT também propôs solução participativa do conflito pelo uso da água, que consistia no monitoramento em tempo real das captações. A ferramenta jurídica do amigo da corte acabou sendo de grande ajuda nas decisões dentro do processo, levando a UFT a um protagonismo, algumas vezes questionado pelas partes envolvidas no processo.

Identificamos, portanto, a oportunidade de estudar a função de *amicus curiae* em um processo judicial de conflito pelo uso da água e verificar se a UFT estaria cumprindo realmente esse papel ou se confundiria com o de um assistente processual, por estar envolvido também na concepção e implementação da solução do conflito. Por meio de abordagem inovadora adotada pelo TJTO, que visava resolver não apenas o processo judicial, mas também o próprio conflito, constatamos que a UFT desempenhou papel fundamental na construção dessa solução de consenso entre as partes envolvidas. Ao fazer isso, a UFT não deixou de cumprir sua função como *amicus curiae*, uma vez que agiu em defesa de interesses sociais, como o uso sustentável da água, sem tomar partido pelas partes envolvidas no processo.

Constatamos que instituições de ensino e pesquisa, como as universidades públicas, desempenham papel relevante em situações de conflitos judiciais

relacionados ao uso da água, como no caso da BHRF. Por meio de seu conhecimento técnico e acadêmico, essas instituições têm a capacidade de fornecer suporte e esclarecimentos tanto ao poder judiciário quanto às partes envolvidas e à sociedade civil. Ao atuarem nesses casos, as universidades públicas podem contribuir com informações embasadas em pesquisas científicas, análises técnicas e expertise nas áreas pertinentes, ajudando a elucidar questões complexas relacionadas aos recursos hídricos. Dessa forma, elas desempenham papel fundamental na promoção de tomada de decisão embasada em evidências e no desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e equilibradas para os conflitos envolvendo o uso da água.

Na análise do Plano de Bacia do rio Formoso (PBRF) elaborado em 2007, verificou-se que antes do aumento significativo da área irrigada na região, já se apontava para cenário crítico de disponibilidade hídrica. A proposta de Zoneamento Ambiental, que ao ser analisada, foi verificado que não foi seguida, sendo que as regiões indicadas com maior vulnerabilidade ambiental foram as que mais sofreram com a conversão para áreas de plantio. Isso pode ser mais um indício que levou à situação de crise hídrica.

Para compreender melhor a dinâmica de ocupação na região da Bacia, foi realizada análise abrangente do uso e ocupação da terra ao longo de um período de 34 anos, de 1985 a 2019. Isso incluiu o cálculo das taxas de transformação em cada período, a identificação de fragilidades ambientais e o mapeamento de zonas propícias para a produção agrícola. Essas análises permitiram a compreensão das mudanças ocorridas na região e a avaliação dos impactos ambientais relacionados ao uso da terra ao longo do tempo. Além disso, foram elaborados cenários considerando as práticas de irrigação e expansão das áreas de plantio existentes, e foi observada tendência de aumento das áreas classificadas como “fragilidade ambiental muito alta”.

Ao levar em consideração as zonas de aptidão hídrica e climática, bem como as exigências específicas das principais culturas da região em termos de temperatura e disponibilidade de água, conclui-se que sem os sistemas de irrigação, a região não seria capaz de atender à demanda de produção agrícola em escala industrial, comprometendo sua representatividade no setor do agronegócio. No entanto, é importante destacar que a expansão contínua das

áreas agrícolas resultará em aumento proporcional na demanda pelo uso da água para a irrigação.

Uma das formas de tentar melhorar o desempenho do uso da água para irrigação é conhecer o risco climático que pode auxiliar na indicação da melhor época de semeadura, fazendo com haja menor dependência da irrigação. Neste contexto são apresentadas as pesquisas de análise de risco climático para o arroz, já concluída e para a soja, ainda em fase de desenvolvimento.

A análise da relação entre solo, clima e planta é de extrema importância para compreender e identificar as condições ambientais ideais que promovem a maior produtividade na região da BHRF. Essa abordagem visa reduzir o risco de perdas na produtividade das culturas, além de otimizar e diminuir a competição pelo uso da água entre os diferentes usuários durante períodos de escassez hídrica. Ao considerar esses aspectos, é possível desenvolver estratégias mais eficientes de manejo e utilização dos recursos naturais, visando a sustentabilidade e o aumento da produtividade agrícola na região.

No contexto do uso racional dos recursos hídricos na produção agrícola, a utilização de ferramentas de modelagem de risco na agricultura tem se mostrado eficaz no planejamento agrícola. Dessa forma, determinou-se a produtividade, o risco climático e as datas de semeadura com baixo risco de perdas de rendimento do arroz irrigado cultivado na BHRF.

No caso do arroz irrigado, o estudo permitiu indicar com eficiência que a semeadura na BHRF, com riscos de 20%, 30% e 40% de obtenção de rendimentos relativos, igual ou maior que o rendimento de referência (PRef.) devem ocorrer nos meses de outubro e novembro. Foram consideradas outras condições que compõem o cenário da produção de arroz irrigado na BHRF e que o modelo ORYZAv3 não considera. A outorga de uso da água, sistema de produção adotado (safra e entressafra) e chuvas excessivas no período de colheita possibilitam resultado preciso e que corrobora com a prática e manejo usualmente adotados na região.

Considerando que o modelo ORYZAv3 foi calibrado e aplicado para obtenção de rendimento sob condição irrigada, sem estresse hídrico, e considerando as condições climáticas da região, admite-se que o rendimento pode ser limi-

tado pelo aumento da nebulosidade e consequente redução da radiação solar e por ocorrência de temperaturas elevadas.

Os resultados obtidos nesse trabalho são capazes de auxiliar a tomada de decisão do produtor rural, do gestor público e de iniciativas privadas quanto a riscos de perdas de produtividade, oriundos de riscos climáticos, admitidos de acordo com a janela de plantio a ser utilizada. Dessa forma, expectativas de produção podem ser mais precisas, e investimentos poderão ser direcionados com mais fundamento. A BHRF possui potencial significativo para expansão de sua produção orizícola com altos rendimentos, caso o sistema de produção adotado considere os riscos climáticos inerentes à atividade.

Especialmente para os produtores rurais, esses resultados podem ser utilizados para orientar seus cultivos tendo em vista a redução de riscos em lavouras, elevar produtividade e sustentabilidade ambiental, ao seguir as janelas de plantio recomendadas pelo modelo, que indica os melhores cenários climáticos para o desenvolvimento das plantas, além da boa gestão dos recursos hídricos, já que a necessidade hídrica da planta pode ser correlacionada com o volume de chuva e sua probabilidade de ocorrência, determinando a necessidade de irrigação suplementar ou não. Esses resultados devem ser aperfeiçoados na medida em que novas variáveis e conceitos forem sendo inseridos no estudo e em possíveis aprimoramentos de modelos agrometeorológicos.

Esses estudos não se esgotam aqui, devem continuar na medida em que forem atualizadas as bases de dados e informações de solo, clima, cultura, recursos hídricos e manejo, especialmente. Durante a condução dos experimentos em campo e a execução do projeto, verificou-se que a relação da água e planta na produção de arroz irrigado vai muito além do atendimento da necessidade hídrica da cultura. O uso da lâmina d'água está relacionado ao controle de uma das principais doenças que atinge a cultura, a brusone.

Outra questão que pode ser aprofundada a partir dos resultados deste estudo, está relacionada aos critérios de outorga de uso na água para a atividade orizícola, já que os períodos de maior necessidade hídrica foram expostos e discutidos levando em conta outros fatores climáticos que afetam o rendimento final da produção, como radiação e altas temperaturas.

No caso da modelagem do risco climático para a o cultivo da soja, trabalho ainda em andamento, deve-se considerar a janela de semeadura indicada pela legislação vigente para produção de sementes de soja nas várzeas tropicais tocan- tinenses, sob sistema de subirrigação, que atualmente se inicia em 20 de abril e estende-se até 31 de maio, sendo classificada como condição de excepcionalidade ao vazio sanitário, segundo a Agência de Defesa Agropecuária do Estado, Adapec - TO.

Ainda dentro do contexto de uso mais eficiente da água para irrigação, o grupo da Rede, formado pelo CENA/USP, com três bolsistas de Pós-Doutorado, e com parceria de pesquisadores da EMPRAPA, focou a Modelagem da produtividade da terra e da água em diferentes cenários de irrigação na planície de inundação da BHRF.

A pesquisa focou na cultura do arroz plantada na época chuvosa e nas culturas de sequeiro plantadas na sequência (milho e soja), visando esclarecer a melhor forma de manejo da irrigação dessas culturas. Especificamente, analisar se a economia da água poderia ser obtida na cultura do arroz para beneficiar as culturas subsequentes. A pesquisa sobre as culturas do milho e da soja é objeto do projeto ainda em andamento, prevendo que termine em meados de 2024.

A hipótese levantada foi a de que métodos de irrigação mais econômicos poderiam ser aplicados para melhorar o cultivo de arroz nas várzeas tropicais do Cerrado brasileiro, reduzindo significativamente o consumo de água sem comprometer a produtividade em comparação com o manejo de irrigação tradicional, como a irrigação por inundação. Com base nessa premissa, foram realizadas simulações agro-hidrológicas para avaliar o desempenho do cultivo de arroz nessas áreas, considerando diferentes tratamentos de irrigação, tanto por inundação quanto econômica.

O objetivo principal dessas simulações foi avaliar o uso de água pelo arroz cultivado em solos com diferentes propriedades hidráulicas, bem como analisar a produtividade da cultura em resposta a diferentes regimes de chuva e irrigação. Dessa forma, buscou-se compreender como o cultivo de arroz pode se beneficiar de práticas de irrigação mais eficientes em termos de uso da água, enquanto mantém ou até mesmo melhora a produtividade, considerando as condições específicas do solo e as variações climáticas da região.

A modelagem foi realizada usando o modelo hidrológico SWAP, com parâmetros definidos de acordo com as condições locais. Os parâmetros da cultura do arroz foram, em sua maior parte, retirados dos dados WOFOST on-line. Vinte e sete cenários de cultivo de arroz, resultantes da combinação de três tipos de solo (três sítios), três tratamentos de irrigação e três regimes de chuva, foram avaliados com o modelo SWAP/WOFOST calibrado e validado. Os tratamentos simulados foram:

- I. Sequeiro: sem irrigação, apenas chuva;
- II. Irrigação econômica, irrigação retornando à capacidade de campo, na qual o modelo adiciona água automaticamente ao sistema para retornar o armazenamento de água do solo à *capacidade de campo* ($h = -100\text{ cm}$) toda vez que a transpiração relativa cai abaixo de 95%;
- III. Irrigação por inundação: a irrigação diária mantém uma camada de água de 6 cm sobre a superfície do solo durante a estação de cultivo, simulando as condições de inundação do experimento de campo.

Nos tratamentos de irrigação econômica, a maior lâmina de irrigação foi de 754 mm para o sítio 3, no cenário de baixa precipitação, e a menor foi de 46 mm para o sítio 2 durante o cenário de alta precipitação. A maior lâmina de irrigação aplicada na inundação foi de 12.754 mm (106 mm d^{-1}) para o sítio 2 no cenário de baixa precipitação, e a menor foi de 8.247 mm (69 mm d^{-1}) para o sítio 3 no cenário de alta precipitação. A menor quantidade de água usada na irrigação por inundação foi 10 vezes maior do que a maior quantidade usada nos tratamentos de irrigação com economia de água.

A maioria dos rendimentos de grãos simulados para o tratamento de sequeiro foi significativamente menor do que o rendimento potencial de grãos no cenário de baixa precipitação. O tratamento de irrigação econômica não aumentou significativamente o rendimento relativo de grãos (Y_r) em comparação com o tratamento de sequeiro no cenário de baixa precipitação para os três locais. O Y_r da irrigação econômica no cenário de baixa precipitação foi, no máximo (no sítio 1), 3% maior do que o rendimento de grãos no tratamento de sequeiro.

O tratamento de irrigação por inundação aumentou o Yr de 8% (sítio 2) para 25% (sítio 3) em comparação com outros tratamentos no cenário de baixa precipitação. Os rendimentos de grãos simulados para os sítios 1 e 2 foram semelhantes aos rendimentos potenciais de grãos (Yr entre 94 e 99%) com ou sem irrigação para os cenários de precipitação intermediária e alta. Com base nesses resultados, a irrigação parece ser desnecessária em anos com quantidades de chuva intermediárias ou altas. No entanto, a irrigação por inundação aumentaria a produtividade de grãos em pelo menos um dos locais (sítio 3) em anos com baixa precipitação.

Um manejo de irrigação ideal deve resultar em alta produtividade da cultura com o uso ideal da água recomendado por uma avaliação combinada da produtividade da água e do rendimento de grãos. Com base nos resultados obtidos, a mudança da irrigação por inundação para irrigação econômica ou tratamento de sequeiro aumenta a produtividade da água da evapotranspiração (WP_{ET}) e a produtividade da água da evapotranspiração + drenagem (WP_{ETQ}), enquanto o rendimento relativo de grãos é pouco afetado em função do tratamento de irrigação para dois dos três locais avaliados.

O tratamento de irrigação por inundação resultou em grandes perdas por drenagem profunda, o que explica por que o WP_{ETQ} é significativamente afetado pela mudança dos tratamentos de inundação para os de economia de água ou de sequeiro. O tratamento de sequeiro mostrou que a produção de grãos é reduzida consideravelmente (23%) no sítio 3 quando a quantidade de chuva é baixa. No entanto, a irrigação econômica aumentou o WP_{ET} e o WP_{ETQ} , enquanto o rendimento de grãos foi reduzido em 13%, o que é quase a metade da redução de Yr ao mudar da irrigação por inundação para o tratamento de sequeiro. Portanto, a partir de uma avaliação combinada da produtividade dos grãos e da eficiência do uso da água, a irrigação econômica é um método promissor para o cultivo de arroz na região de planície do Cerrado.

Nas planícies de inundação tropicais do Cerrado brasileiro, a irrigação por inundação resulta na maior produtividade de grãos, mas na menor eficiência no uso da água. Esse método de irrigação só é recomendado quando a precipitação é muito baixa (abaixo de 500 mm por estação) e se a maximização da produção de grãos for preferível à eficiência do uso da água.

A escolha do método de irrigação com economia de água em vez do método de irrigação por inundação aumenta a produtividade da água em cerca de 10% e penaliza a produtividade de grãos de arroz em 5 a 15%. Portanto, como alternativa ao método tradicional de irrigação por inundação empregado no Sul do Brasil, recomenda-se o método de irrigação mais sustentável baseado na transpiração da cultura para aumentar a eficiência do uso da água na produção de arroz no Norte do Brasil.

A equipe de pesquisadores da Universidade de Brasília trabalhou no âmbito da melhoria de processos de alocação de recursos hídricos e respectiva outorga pelo uso da água por meio da simulação socio-hidrológica da bacia do rio Formoso. As plataformas WEAP e GAMA foram utilizadas respectivamente para a modelagem hidrológica e para representação da demanda de água por irrigantes na bacia. Para tanto foi concebido um modelo baseado em agentes (MBA) para análise do comportamento dos usuários de água nas bacias do rio Urubu e do Rio Formoso. A pesquisa foi desenvolvida no âmbito de três dissertações. Inicialmente o foco foi a modelagem hidrológica com uso da plataforma WEAP da sub-bacia do rio Urubu que concentra grande maioria das demandas de irrigação na bacia do Formoso.

Com base na modelagem hidrológica foram feitas análises do impacto das medidas contidas no Plano do Biênio para efetiva conservação das vazões do rio Urubu. O Plano do Biênio, elaborado pela UFT e aprovado pelo comitê da BHRF estabelece um sistema semafórico de cotas de atenção (amarela) em que devem ser estabelecidas ações de redução das vazões captadas e de cotas críticas (vermelha) e datas limites de captação de água.

A aplicação dos cenários alternativos de vazões captadas (demanda) buscou avaliar a resposta da vazão remanescente do rio Urubu após a captação de água pelos irrigantes. Essa análise visava à aplicação de melhorias no manejo da água aplicada às áreas agricultáveis durante o plantio do arroz e em especial da soja para sementes. Ao final da simulação foi verificada a disponibilidade hídrica frente às alterações na demanda por água propostas nos cenários alternativos. O cenário de referência utilizado, foi com os dados diários de vazões de captação das bombas, para o período de análise de julho de 2018 a junho de 2019, sendo considerado nessa pesquisa como a representação mais próxi-

ma da realidade para a bacia hidrográfica em estudo.

A análise dos cenários alternativos mostrou a necessidade de um manejo da água para irrigação mais eficiente na bacia do rio Urubu, proporcionado pela alteração dos mecanismos e técnicas de irrigação, aprimoramento dos sistemas já utilizados, aplicação de novas tecnologias de retenção da água no solo, melhoramento da estrutura de condução da água para as áreas de plantação ou mesmo alteração do tipo de cultura dominante, especialmente no período de seca. Aliar diversas estratégias, como a antecipação da demanda e o manejo eficiente da água, podem ser alternativas que facilitem o alcance da meta de redução.

A etapa seguinte do projeto focou na simulação socio-hidrológica na bacia. Para tanto foi concebido o modelo baseado em agentes (MBA) para representação dos perfis de irrigantes no que se refere ao nível de demanda de água na bacia do rio Urubu. Foi acoplado o MBA à simulação hidrológica no WEAP para definir a modelagem socio-hidrológica na bacia e avaliar a contribuição de comportamentos cooperativos para conservação dos recursos hídricos. Os cenários de demanda deixaram de ser variáveis exógenas à modelagem e passaram a ser simuladas como parte integrante do modelo socio-hidrológico.

Foram definidos diversos cenários de gestão de demanda de acordo com perfis de cooperação dos irrigantes (CP-Cooperativo, NC-Não cooperativo e CI-Indeterminado). Ressalta-se que o objetivo dos cenários executados para a integração é demonstrar a potencialidade do modelo, e não esgotar as possibilidades de integração. Sendo assim, foram selecionados quatro cenários para verificação da influência dos cenários simulados no MBA na disponibilidade hídrica do rio Urubu: dois cenários extremos de outorga coletiva implementada e em implementação, considerando a totalidade (S7 e S11) e predominância (S12 e S13) de irrigantes nos perfis cooperativos e não-cooperativos, respectivamente.

O cenário de nível mínimo (S7) apresenta comportamento mais restritivo, com obediência à regra amarela (do plano do biênio) na 4ª quinzena, a partir do dia 14/06 (16 dias antes do dia 01/07), e consumo cessando em 25 de julho, ainda na 6ª quinzena. Nesse sentido, os agentes de perfil CP podem ser consi-

derados mais sensíveis à percepção de seca do que a condições de maior disponibilidade hídrica, dado que reduzem a retirada mediante condições de maior restrição hídrica. Mas em condições de maior disponibilidade, continuam atendendo a regra em 01/07 ou 01/08, independentemente se o critério de nível for atingido durante ou após essa data.

A integração entre o MBA e o Modelo Hidrológico foi executada para quatro cenários: dois cenários extremos de outorga coletiva, com total aderência ao perfil CP (S7) e NC (S11), e dois cenários que simulam o efeito de vizinhança em toda a bacia, considerando as configurações base (S12) e permutada (S13). Os cenários de outorga coletiva foram realizados considerando a condição de disponibilidade hídrica mínima, ao passo que os cenários de efeito de vizinhança foram executados com a condição média de disponibilidade hídrica.

A análise dos cenários de integração entre o modelo hidrológico e o MBA permitiu concluir que a obediência das regras de uso estabelecidas é essencial para a garantia de vazões disponíveis mais seguras na totalidade do curso d'água, como pode ser observado no cenário S7, em que os usuários se comprometem coletivamente a se comportar de forma colaborativa. Mesmo em situações intermediárias de outorga coletiva em que 54% dos usuários na bacia comportam-se de forma cooperativa (S13), foram obtidos em sua maioria vazões simuladas proporcionalmente mais altas.

Assim, evidencia-se que nos cenários em que se preza a tomada de decisão individual, isto é, em que somente uma parcela dos usuários compromete-se a um acordo, podem ser desfavoráveis tanto do ponto de vista hidrológico, com redução da vazão disponível, quanto social, dado o comprometimento da equidade entre os usuários. Em contraponto a isso, cenários de decisão coletiva em que os usuários aderissem a um perfil cooperativo podem levar a uma distribuição mais justa dos custos e benefícios de cooperação entre os usuários. A modelagem comportamental dos agentes ressaltou a importância da cooperatividade prática dos usuários mediante o cumprimento de forma coletiva das regras de uso (atenção e restrição) para manutenção de vazões disponíveis com margem de segurança acima das vazões ambientais consideradas.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Dentro do contexto apresentado sobre a formação da Rede, inicialmente destacam-se as pesquisas conduzidas pela UFT em parceria com a EMBRAPA Aquicultura e Pesca, que resultaram em cinco dissertações de mestrado e uma tese de doutorado, da UnB que resultou em três dissertações de mestrado e do CENA/USP que participou com três bolsistas de Pós-Doutorado. No período de desenvolvimento do projeto outros trabalhos de formação de recursos humanos e produção científica e tecnológica foram realizados. Foram concluídas 7 dissertações de mestrado, 1 tese de doutorado, 3 treinamentos de Pós-Doutorado e 2 trabalhos de conclusão de curso. A produção científica totalizou 3 artigos científicos publicados em revistas científicas, 12 trabalhos apresentados em Simpósios além de 6 resumos expandidos.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

NICOLE JOHN VOLKEN (PTHAR-UNB). Modelagem hidrológica para análise de balanço hídrico e avaliação de cenários de gestão de demanda agrícola na bacia hidrográfica do Rio Urubu – TO.

<https://repositorio.unb.br/handle/10482/44756>

DÉBORAH SANTOS DE SOUSA (PTHAR-UNB). Modelagem baseada em agentes acoplada à modelagem hidrológica para avaliação de estratégias coletivas de alocação de água: o caso do Rio Urubu (TO).

EDUARDO PAULINO DA SILVA (PTHAR-UNB). Elaboração e avaliação de cenários de outorga coletiva em regiões de conflito pelo uso da água através do WEAP. Estudo de caso: Bacia do Rio Formoso-TO.

PEDRO HENRIQUE FURTADO ALENCAR (PPGDR-UFT). Análise do crédito rural na bacia hidrográfica do Rio Formoso e sua relação com uso da água para irrigação.

DANILLO SILVA NUNES (PPGDR-UFT). Análise espaço – temporal da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica Rio Formoso, Tocantins.

LAURA RESPLANDES DE SOUSA PAZ OLIVEIRA (PPGDR-UFT). Análise de risco climático, rendimento e indicação de épocas de semeadura de arroz (*Oryza Sativa L.*) irrigado na bacia hidrográfica do Rio Formoso, Estado do Tocantins.

KÁSSIO HENRIQUE DOS SANTOS AIRES (PPGDR-UFT). O Papel da UFT como amigo da corte (*Amicus Curiae*) na ação civil pública pelo conflito do uso da água na bacia hidrográfica do Rio Formoso.

DOUTORADO

ROBERTA MARA DE OLIVEIRA (PPGDR-UFT). Uso da terra, aptidão hídrica e expansão da atividade agrícola no sudoeste do Tocantins: identificação de cenários e fragilidades.
<http://hdl.handle.net/11612/3573>

PÓS-DOUTORADO

ANDRÉ FRÓES DE BORJA REIS (CENA/USP);

ISMAEL MEURER (CENA/USP);

VICTOR MERIGUETTI PINTO (CENA/USP).

TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

Mariane Carvalho de Oliveira. Análise da influência da formação de um banco de areia na disponibilidade hídrica do Rio Javaés/TO.

Daniel Arruda Carvalho. Mudanças no uso e ocupação do solo e impacto no ciclo hidrológico: bacia do rio Javaés.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

VICTOR MERIGUETTI PINTO, ANDRE FROES DE BORJA REIS, MARINA LUCIANA ABREU DE MELO, KLAUS REICHARDT, DEIVISON SANTOS, QUIRIJN DE JONG VAN LIER. Sustainable irrigation management in tropical lowland rice in Brazil. *Agricultural Water Management* 284 (2023) 108345.

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837742300210X?
via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837742300210X?via%3Dihub)

ROBERTA MARA DE OLIVEIRA VERGARA; RODOLFO ALVES DA LUZ; FERNÁN ENRIQUE VERGARA FIGUEROA. Dynamics of the occupation and formation of the territory in the middle Araguaia region, in the southwest tocaninese and the expansion of grain production. *Campo-Território: Revista de Geografia Agrária*, Uberlândia-MG, v. 18, n. 49, p. 120-139, abr. 2023.

<https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/67164>

NICOLE JOHN VOLKEN; RICARDO TEZINI MINOTI; CONCEIÇÃO MARIA DE ALBUQUERQUE ALVES; FERNÁN ENRIQUE VERGARA. Analyzing the impact of agricultural water-demand management on water availability in the Urubu River basin – Tocantins, Brazil. *Revista Ambiente & Água*. vol. 17 n. 4, e2847.

<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/s7hFy8DFdc3hdQrHRC9fjPv/?lang=en>

TRABALHOS APRESENTADOS NO XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AÇÃO CIVIL PÚBLICA COMO INSTRUMENTO DE EFETIVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.

Kássio Henrique Dos Santos Aires, Fernán Enrique Vergara, Danillo Silva Nunes, Arthur Prudente Junqueira, Laura Resplandes de Sousa Paz, Pedro Henrique Haddad Araújo.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13093>

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO WEAP PARA OBTENÇÃO DE VAZÃO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUBU NO ESTADO DO TOCANTINS. Conceição de Maria Albuquerque Alves, Fernán Enrique Vergara, Ricardo Tezini Minoti, Nicole John Volken.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12940>

ANÁLISE DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA UTILIZANDO INDICADORES LOCACIONAIS E DE ESPECIALIZAÇÃO EM ATIVIDADES COM USO DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO – TO. Pedro Henrique Furtado Alencar, Danillo Silva Nunes, Fernán Enrique Vergara, Roberta Mara Oliveira.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13129>

ANÁLISE ESTRUTURAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, TOCANTINS, POR MEIO DA METODOLOGIA MICMAC. Danillo Silva Nunes, Fernán Enrique Vergara, Laura Resplandes de Sousa Paz, Pedro Henrique Furtado Alencar, Arthur Prudente Junqueira, Kássio Henrique Dos Santos Aires, Roberta Mara Oliveira.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13094>

APLICAÇÃO DO MODELO WEAP NA BACIA DO RIO URUBU - TO PARA AVALIAÇÃO DA DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA. Eduardo Paulino da Silva, Fernán Enrique Vergara, Ricardo Tezini Minoti, Conceição de Maria Albuquerque Alves.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13208>

ZONAS DE RESTRIÇÃO HÍDRICA PARA A PRODUÇÃO DE GRÃOS NA ÁREA ESTRATÉGICA DE GESTÃO AEG-01 NA REGIÃO AGRÍCOLA DO RIO FORMOSO - TO. Roberta Mara Oliveira, Fernán Enrique Vergara, Rodolfo Alves da Luz.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13128>

ZONEAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO COMO INSTRUMENTO DE APOIO AO USO EFICIENTE DA ÁGUA NA AGRICULTURA. Laura Resplandes de Sousa Paz, Balbino Antonio Evangelista, Fernán Enrique Vergara, Danillo Silva Nunes, Isabella Lopes Ribeiro, Patrícia Resplandes Rocha dos Santos, Pedro Henrique Haddad Araújo, Kássio Henrique Dos Santos Aires, Arthur Prudente Junqueira.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13066>

PROPOSTA DE MODELO BASEADO EM AGENTES ACOPLADO A MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA ANÁLISE DE ALOCAÇÃO NEGOCIADA NA GESTÃO DE CONFLITOS PELO USO DE ÁGUA NO RIO FORMOSO, TO. Déborah Santos de Sousa, Conceição de Maria Albuquerque Alves.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12911>

TRABALHOS APRESENTADOS NO XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA PROJETOS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO DO TOCANTINS. Fernán Enrique Vergara, Roberta Mara Oliveira, Viviane Basso Chiesa, Antonia Lopes Sousa.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5029>

BALANÇO HÍDRICO ENTRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E A DEMANDA OUTORGADA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO. Fernán Enrique Vergara, Luiz Carlos Silva Araújo, Felipe De Azevedo Marques, Marcelo Freitas De Souza, Ary Henrique Moraes.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5354>

Gestão Estratégica da Bacia do Rio Formoso: Uma Proposta Metodológica sob a Ótica do Viable System Model (VSM). Fernán Enrique Vergara, Juliana Mariano Alves.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5572>

PLANO DE GESTÃO OPERACIONAL DE CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS NO PERÍODO SECO PARA UMA BACIA CRÍTICA: O CASO DA BACIA DO RIO FORMOSO/TO. Felipe de Azevedo Marques, Fernán Enrique Vergara, Marcelo Freitas de Souza, Ary Henrique Moraes.

<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5842>

RESUMOS EXPANDIDOS

IMPACT OF WATER DEMAND FOR IRRIGATION ON THE WATER AVAILABILITY OF THE URUBU RIVER IN BRAZIL. Nicole John Volken, Ricardo Tezini Minoti, Conceição de Maria Albuquerque Alves and Fernán Enrique Vergara Figueroa. *In: IAHS-AISH Scientific Assembly, 2022.*

WATER AVAILABILITY AND EXPANSION OF AGRICULTURAL ACTIVITY IN SOUTHWESTERN TOCANTINS -BRAZIL: IDENTIFICATION OF SCENARIOS AND WEAKNESSES. Roberta M. Oliveira, Rodolfo Alves Luz, Fernán E. V. Figueroa. *In: IAHS-AISH Scientific Assembly, 2022.*

NA AGENT-BASED MODEL TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF WATER ALLOCATION METHODOLOGIES IN COUPLED HUMAN-WATER IRRIGATION SYSTEMS: THE CASE OF THE FORMOSO RIVER BASIN (BRAZIL). Déborah Santos de Sousa, Conceição de Maria Albuquerque Alves, Celina Ghedini, Fernán Vergara. *N: IAHS-AISH Scientific Assembly, 2022.*

A BDI MODEL FOR WATER CONFLICT MANAGEMENT AND COOPERATION AMONG FARMERS DURING THE DRY SEASON USING THE GAMA PLATFORM. Sousa, D.; Couto, C.; Alves, C.; Ralha, C. *In: GAMA Days 2022.*

COUPLING AGENT-BASED AND HYDROLOGICAL MODELING TO EVALUATE WATER ALLOCATION STRATEGIES IN IRRIGATED AGRICULTURAL REGIONS: THE CASE OF FORMOSO RIVER BASIN IN THE BRAZILIAN CERRADO. Sousa, D.; Alves, C.; Ralha, C.; Couto, C.; Vergara, F. (2023) *In: EWRI 2023.*

<https://ewricongress2023.eventscribe.net/SearchByBucket.asp?pfp=Track&bm=International+Issues>

BUILDING WATER ALLOCATION STRATEGIES AMONG FARMERS USING COUPLED AGENT-BASED AND HYDROLOGIC MODELING. Sousa, D.; Paulino, E.; Alves, C.; Ralha, C.; Tezini, R.; Vergara, F. (2023) *In: 28th IUGG General Assembly.*

https://iugg2023.floq.live/event/IUGG23/daily_program_iahs?objectClass=timeslot&objectId=6452c476c9408667e170aa6b&type=detail

Os autores ficam à disposição para repassar a produção de material apresentado, que não está com o link disponível. Estamos com cinco artigos submetidos em periódicos e dois resumos expandidos aprovados em Simpósio.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Conforme exposto, todas as pesquisas foram conduzidas em bacia hidrográfica que enfrentava crise hídrica e conflitos relacionados ao uso da água, os quais foram judicializados devido a uma estiagem prolongada e a problemas na aplicação de instrumentos de gestão. O objetivo dessas pesquisas era compreender o problema e propor soluções viáveis para evitar a recorrência dessa crise hídrica. Podemos destacar as seguintes conclusões em relação aos objetivos do projeto e aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos:

- I. A análise da dinâmica de uso e ocupação da bacia revela aumento significativo das áreas destinadas à agricultura irrigada, especialmente para a produção de soja para semente, que é commodity de alta demanda mundial. No entanto, observa-se que esse avanço não leva em consideração os fatores limitantes de produção, como a disponibilidade hídrica.
- II. As políticas públicas de incentivo à produção de commodities agrícolas resultaram em aumento significativo no crédito agrícola fornecido por bancos públicos para essa atividade na BHRF. Essa expansão da área plantada pode ter contribuído para a crise hídrica de 2016. Diante disso, recomenda-se que os financiamentos agrícolas, em bacias com vulnerabilidade hídrica, sejam avaliados com mais rigor pelos órgãos de fomento e pelas autoridades responsáveis pela emissão das outorgas. É fundamental considerar aspectos sinérgicos, como o número de financiamentos realizados na mesma bacia hidrográfica, a fim de evitar impactos negativos no equilíbrio entre demanda e disponibilidade hídrica na BHRF.
- III. A análise da evolução do uso e cobertura da terra revelou que há sobreposição da produção agrícola em áreas classificadas como ambientalmente frágeis, principalmente aquelas com classificação de “média” a “alta”. No entanto, quando consideramos o impacto da mecanização agrícola nessas áreas, elas passam a ser classificadas

como de “alta” a “muito alta” fragilidade. Essa tendência de aumento das áreas frágeis se mantém nos cenários futuros, levando em conta as práticas de irrigação e expansão das áreas de plantio existentes. Portanto, ao pensar na expansão da produção agrícola na região, especialmente no aumento da produção de grãos, é necessário analisar o aumento da produtividade em vez da simples expansão das áreas destinadas à agricultura irrigada, comprometendo a disponibilidade hídrica e alterando as condições climáticas locais, como temperatura e precipitação. Com manutenção dos atuais padrões de ocupação, com a expansão da cultura para áreas de pastagens, a região corre o risco de enfrentar outro sério período de déficit hídrico, resultando em baixa produtividade agrícola. Aqui destaca-se a possibilidade de inclusão dessas condicionantes em futura revisão do plano de bacia do rio Formoso.

- iv. O processo judicial que trata o conflito pelo uso da água envolveu a UFT como *amicus curiae*, sendo responsável inicialmente por fornecer assessoria técnica sobre a gestão dos recursos hídricos ao TJTO e, também, acabou sendo responsável por solução técnica para a resolução do conflito pelo uso da água. Essa participação se demonstrou determinante para que o processo judicial caminhasse para conciliação e não apenas o cumprimento de rito processual. Ficou então comprovado que o conhecimento técnico e acadêmico de uma Universidade Pública pode ser determinante para se chegar à solução pactuada e de consenso;
- v. A importância de definir as melhores datas de plantio das culturas da bacia, por meio de análise de risco climático, pode orientar os produtores iniciarem o plantio em época mais adequada, o que pode reduzir a demanda hídrica da planta. Esse calendário pode ser incorporado também como um dos critérios para a emissão de outorgas pelo uso da água, que poderia priorizar usuários que acompanhassem esse calendário, e ,também, pode ser considerado como uma recomendação no plano de bacia;

- vi. Em relação aos sistemas de irrigação encontrados na região, o por inundação resulta na maior produtividade de grãos, mas na menor eficiência no uso da água. Esse método de irrigação só é recomendado quando a precipitação é muito baixa (abaixo de 500 mm por estação) e se a maximização da produção de grãos for preferível à eficiência do uso da água. O que é questionável para bacia em situação de criticidade hídrica, recomendando-se método de irrigação mais sustentável, baseado na transpiração da cultura, para aumentar a eficiência do uso da água. Pode ser mais um fator a ser levado em consideração na emissão da outorga pelo uso da água;
- vii. A análise dos cenários de integração entre o modelo hidrológico e o Modelo Baseado em Agentes (MBA) permitiu concluir que a obediência das regras de uso estabelecidas é essencial para a garantia de vazões disponíveis mais seguras na totalidade do curso d'água, em que os usuários se comprometem coletivamente a se comportar de forma colaborativa. Mesmo em situações intermediárias de outorga coletiva, os usuários na bacia comportam-se de forma cooperativa, em sua maioria, com vazões simuladas proporcionalmente mais altas.
- viii. A modelagem comportamental dos agentes ressaltou a importância da cooperatividade prática dos usuários, mediante o cumprimento de forma coletiva das regras de uso, componente que pode ser considerada para a elaboração de proposta de outorga coletiva.

PERSPECTIVAS

A conclusão de alguns trabalhos ainda está pendente, como a análise de risco climático para o cultivo da soja e a avaliação da eficiência do uso da água na irrigação de soja, os quais devem ser finalizados até 2024.

Conforme mencionado na introdução, na segunda metade deste projeto, reconhecemos a necessidade de realizar estudos adicionais na região do rio Javaés. Até o momento, foram realizados dois trabalhos de conclusão de curso e atualmente estão em andamento duas dissertações de mestrado nessa área específica.

Um dos trabalhos de graduação destacou o fenômeno de seccionamento do fluxo de água do rio Araguaia para o rio Javaés, que ocorre no ponto de formação da ilha do Bananal. Esse processo tem se prolongado a cada ano. Durante visita ao local, foi constatada a presença de extenso banco de areia nessa região, indicando impacto na disponibilidade hídrica no rio Javaés, que recebe águas do rio Formoso. Essa descoberta motivou a continuidade dos estudos nessa região.

Outro trabalho identificou as causas e fatores responsáveis por alterações nos níveis naturais de vazão dos rios, visando manter o equilíbrio hídrico da bacia. Para isso, foram utilizados modelos e simulações dos processos hidrológicos, juntamente com a análise das séries históricas de vazão do rio Javaés, a fim de analisar o impacto das atividades humanas no ciclo hidrológico da região e identificar as principais causas dessas alterações. Com base nessas informações, esse estudo avaliou a relação entre as mudanças no uso e ocupação da terra na Bacia do rio Javaés e a disponibilidade hídrica atual. Realizaram-se atividades de modelagem e simulação hidrológica específicas para a bacia em questão, e as séries históricas de vazões do rio Javaés foram analisadas para compreender a importância e o impacto das mudanças no uso e ocupação da terra na bacia. Os trabalhos de mestrado visam a modelagem do escoamento do rio Javaés e um mapeamento mais detalhado desse banco de areia.

Em relação à bacia do rio Formoso o sistema de monitoramento de vazões captadas, desenvolvido pela UFT, tende a se consolidar, gerando maior série histórica de dados que podem fazer com que os modelos estudados aqui possam ser refinados.

REFERÊNCIAS

Todo o material contido neste capítulo faz referência aos trabalhos relacionados no subtítulo *Formação de recursos humanos e produção científica e tecnológica*.

**Gestão participativa dos recursos hídricos
utilizando jogos computacionais e
sistemas multiagentes**

Diana Francisca Adaatti

Marilton Sanchotene de Aguiar

Raquel de Miranda Barbosa

A gestão dos recursos naturais preocupa-se com a compreensão científica e tecnológica dos recursos e da ecologia, bem como com a forma como esses recursos podem sustentar a vida animal. Uma abordagem para auxiliar a tomada de decisão nessa área complexa é a integração de jogos de papéis (RPG) e de sistemas multiagentes (SMA). Neste capítulo, apresentamos nossos resultados gerais em um experimento, utilizando essas técnicas em uma bacia hidrográfica específica no sul do Brasil, onde a integração do uso de SMA e RPG, de diferentes formas, busca resolver e ajudar em um processo de tomada de decisão participativa.

Palavras-chave: sistemas multiagentes; jogos de RPG; gestão de recursos naturais.

Segundo Millington (2006), “a Inteligência Artificial (IA) trata sobre computadores que são capazes de executar tarefas ‘pensantes’, que humanos e animais são capazes de executar”. Nessa linha de raciocínio, computadores já resolvem muitos problemas, como cálculos aritméticos, ordenação e pesquisa de dados. Contudo, a motivação dos acadêmicos de IA é baseada em aspectos filosóficos: entender a natureza do pensamento e da inteligência e, dessa forma, construir sistemas para modelar essa maneira de pensar. Convém comentar que alguns pesquisadores são motivados pela psicologia e tentam entender como os processos mentais e do cérebro humano funcionam. Em áreas aplicadas, os engenheiros buscam desenvolver algoritmos para a realização de atividades diárias das pessoas.

O gerenciamento de recursos naturais é uma área que busca melhores formas de gerenciar terras, águas, plantas e animais, baseado na qualidade de vida das pessoas no presente e para gerações futuras. Essa área ganhou mais visibilidade com a noção de desenvolvimento sustentável, que é um princípio de como os governos veem e compreendem o mundo. O gerenciamento dos recursos naturais foca especificamente no entendimento técnico e científico de recursos e ecologia e como esses recursos podem dar suporte à vida animal (HOLZMAN, 2009).

Para Fuller *et al.* (2007), existem três desafios computacionais ligados ao gerenciamento de recursos naturais: gerenciamento e comunicação de dados; análise de dados; e controle e otimização. Para resolver esses desafios, a utilização de ferramentas computacionais utilizando técnicas de IA pode ser uma solução, visto que elas têm a flexibilidade necessária para tratar a dinâmica existente em recursos naturais. Nesse sentido, muitas técnicas estão disponíveis na literatura, como Algoritmos Genéticos, Redes Neurais, Sistemas Multiagente, Autômatos Celulares, Inteligência de Enxames etc.

O gerenciamento de recursos depende de sistemas de informação geográfica (GIS), para que se tenha interatividade, alto desempenho, computação integrada aos modelos e computação distribuída geograficamente. Por exemplo, técnicas de gerenciamento de larga escala para processar e descobrir as sequências genômicas. Normalmente, a computação é aplicada em áreas da biologia para resolver os problemas de análise e de gerenciamento de dados, pois esses têm uma importância política, social e econômica agregada. Contudo, um problema pode envolver todas essas três áreas, como soluções para controle de espécies exóticas, que depende de informações sobre os organismos e sua difusão no ambiente (gerenciamento e comunicação de dados), entendimento de ligações temporais e espaciais (análise de dados) e desenvolvimento de estratégias para gerenciar populações de espécies exóticas (controle e otimização).

Gilbert e Troitzsch (1999) pontuam que os Sistemas Multiagente (SMA) estudam o comportamento de um conjunto, independentemente de agentes com diferentes características, evoluindo em ambiente comum. Esses agentes interagem uns com os outros, e tentam executar suas tarefas de forma cooperativa, compartilhando informações, evitando conflitos e coordenando a execução das atividades. Adicionalmente, o uso de simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão é bastante eficiente, porque é possível verificar detalhes com grande precisão. Simulação Baseada em Agentes (*Multi-Agent-Based Simulation* – MABS) é a união de Sistemas Multiagente e Simulação e é largamente utilizado, pois tenta unir perspectivas interdisciplinares de estudo. Normalmente envolve pesquisadores de diversas áreas, como psicologia social, ciência da computação, biologia social, sociologia e economia (LE PAGE *et al.*, 2015; LE PAGE *et al.*, 2016).

Jogo de Papéis (*Role-Playing Game* – RPG) é um tipo de jogo onde os jogadores interpretam uma personagem, criada dentro de um determinado cenário (ambiente). As personagens respeitam um sistema de regras, que serve para organizar suas ações, determinando os limites do que pode ou não ser feito (KLIMICK, 2003). RPG é uma técnica muito utilizada em treinamento, pois pode colocar os jogadores em situações de tomada de decisão similares às reais, porém, sem consequências efetivas. Em especial, grandes empresas têm utilizado RPG em cursos de treinamento devido ao fator lúdico envolvido nos jogos,

o que faz com que o treinamento e/ou a aprendizagem de determinado assunto sejam facilitados (PERROTTON *et al.*, 2017).

A utilização integrada de MABS e RPG iniciou com pesquisas desenvolvidas pelo CIRAD¹ (*Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*), França, no início dos anos 2000. Esse grupo desenvolveu uma metodologia denominada ComMod²: *The Companion Modelling approach*, na qual os participantes têm papel decisivo no processo de tomada de decisão e de entendimento dos problemas socioambientais a serem resolvidos. Diversos trabalhos já foram realizados em inúmeros países, incluindo o Brasil.

Em 2003, em projeto conjunto entre o CIRAD, a Universidade de São Paulo e a Universidade de Cochabamba (Bolívia), o projeto Negowat (*Negotiation of Water*) foi desenvolvido sobre essa abordagem. O projeto teve sua finalização em 2009, mas diversos trabalhos foram realizados, sempre sob uma perspectiva interdisciplinar. Dentro dessa perspectiva, Adamatti (2007) apresentou como essa metodologia poderia ser aplicada no contexto Web (o jogo era jogado de forma remota), para tomada de decisão em grupos sobre os problemas hídricos. Vale ressaltar que os pesquisadores do CIRAD continuam em atividade em outras universidades do Brasil, como Universidade de Brasília, Universidade Federal do Pará e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As análises em hidrologia para bacias hidrográficas geralmente demandam grandes quantidades de informações espaciais e temporais, requerendo esforços computacionais consideráveis. Ferramentas da estatística clássica geralmente são limitadas para essa finalidade. Beskow *et al.* (2014) estudaram vazões de estiagem no Rio Grande do Sul, considerando cursos d'água com área de drenagem inteiramente no estado. A base de dados monitorada foi obtida na Agência Nacional de Águas, no portal *HidroWeb* – Sistema de Informações Hidrológicas. No presente estudo, utilizaram-se os mesmos dados de Beskow *et al.* (2015), no entanto, após o processamento de cada conjunto de dados no

1 <http://www.cirad.fr>

2 <http://www.commod.org>

ambiente do aplicativo SYHDA, eles foram submetidos ao teste de estacionariedade de Man-Kendall, com vazões médias anuais e ao nível de significância de 5%, resultando em 78 séries estacionárias.

Este projeto visa a utilização conjunta de MABS e RPGs, com a finalidade de se obter a gestão participativa dos recursos hídricos, mais especificamente utilizando como base dados do estado do Rio Grande do Sul, e focando a aplicação-piloto do trabalho no Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, que envolvem as cidades de Rio Grande e de Pelotas, entre outras. Do que rege nosso conhecimento, ainda não foi aplicada essa metodologia no contexto do estado, buscando forma mais interativa e participativa para a tomada de decisão sobre questões hídricas. Nessa abordagem, é vital a participação dos agentes envolvidos. Assim, a integração com os membros do comitê de bacia da região proposta é essencial.

OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi a formalização, o desenvolvimento e a aplicação de uma ferramenta (jogo) para a gestão participativa dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul, utilizando MABS e RPG. Como objetivos específicos, têm-se:

- I. formalização de parcerias com o Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo;
- II. realização de RPG de mesa, ou seja, em papel, para entendimento da problemática e inicialização do processo de modelagem;
- III. modelagem e formalização do problema do comitê, bem como aquisição dos dados georreferenciados da região, para desenvolvimento do primeiro protótipo;
- IV. definição das formas de avaliação da ferramenta (questionários, dados quantitativos);
- V. desenvolvimento e testes do protótipo totalmente computacional.

IMPACTOS

Desenvolvemos e formalizamos a utilização das técnicas de RPG e SMA para a Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo. Com base na Figura 1, desenvolvemos produtos, usando abordagens RPG+SMA³ ou RPG++MAS⁴ (FARIAS *et al.*, 2019). Primeiramente, são apresentados os papéis do RPG e suas funcionalidades. A seguir, descrevemos os produtos desenvolvidos.

Em nosso projeto, o RPG proposto chama-se GORIM, e todos os papéis e regras foram baseados na Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo, RPG integrado e técnicas de SMA. O diagrama apresentado na Figura 1 mostra a integração entre os agentes, seus papéis e sua influência no ambiente. Os agentes podem ser divididos em três grupos (reguladores, supervisores e produtores), considerando as tarefas que assumem.

O grupo dos Reguladores é responsável por administrar os recursos financeiros (no jogo denominado “Dinheiros”) provenientes dos impostos e multas pagos pelos produtores, para controlar a poluição do meio ambiente (ou seja, mediante incentivos fiscais, ações ambientais para reduzir a poluição), sem prejudicar os mecanismos de produção. Nesse ambiente, o prefeito e o vereador são os papéis do grupo de reguladores, que devem negociar (ou seja, por meio de mensagens) para decidir quais ações serão utilizadas no ambiente e em cada turno.

Os Fiscalizadores têm por objetivo fiscalizar e informar irregularidades relativas à produção e à exploração do meio ambiente. Os agentes fiscalizadores são aqueles que assumem as funções de Fiscal Ambiental ou Organização Não Governamental – ONG, (Figura 1). A fiscalização ambiental é responsável por fiscalizar os agentes dos produtores, multando aqueles que poluírem demais

3 RPG que requer suporte de computador para rodar, devido à complexidade das regras do jogo e seus cálculos, as partes interessadas usam cartas para jogar o jogo, mas todas as ações do jogo são inseridas e processadas por um sistema multiagente computacional.

4 RPG é criado como software, a simulação multiagente faz todos os cálculos e os interessados podem jogar remotamente.

o meio ambiente. Além disso, a ONG informa os Órgãos Reguladores sobre o nível de poluição do meio ambiente, conscientizando-os a implantar ações ambientais para diminuir essa poluição.

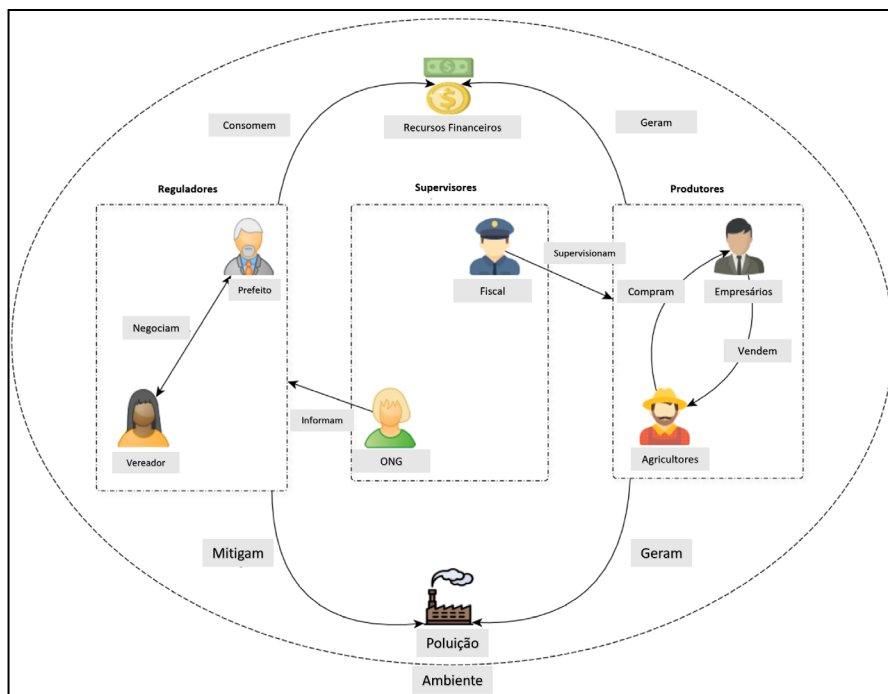


Figura 1. O Diagrama de Integração do GORIM

Os produtores, por seu lado, são responsáveis por explorar o ambiente para obter recursos financeiros. Esses agentes são os principais geradores de poluição e, portanto, de *Dinheiros* no sistema, sejam Empresários ou Agricultores. O Empresário responde pela disponibilização dos equipamentos e da matéria-prima para a produção. O Agricultor é responsável por utilizar aquele equipamento e matéria-prima em sua produção, combinando diferentes produtos para gerar valores diversos de produção. Assim, damos a interação entre os produtores por intermédio da venda/aluguel de equipamentos e matéria-prima. Em Martins e Adamatti (2021) apresentamos mais detalhes da modelagem, diagramas UML e implementação do motor do RPG.

Com base nos papéis e nas regras do GORIM, desenvolvemos alguns produtos, utilizando SMA e RPG. Por exemplo, a Figura 2 apresenta as trilhas que trabalhamos em nosso projeto. Algumas trilhas funcionam diretamente com RPG, outras com SMA. Além disso, dois trabalhos utilizam a integração de RPG e SMA. Apresentamos esses produtos a seguir.

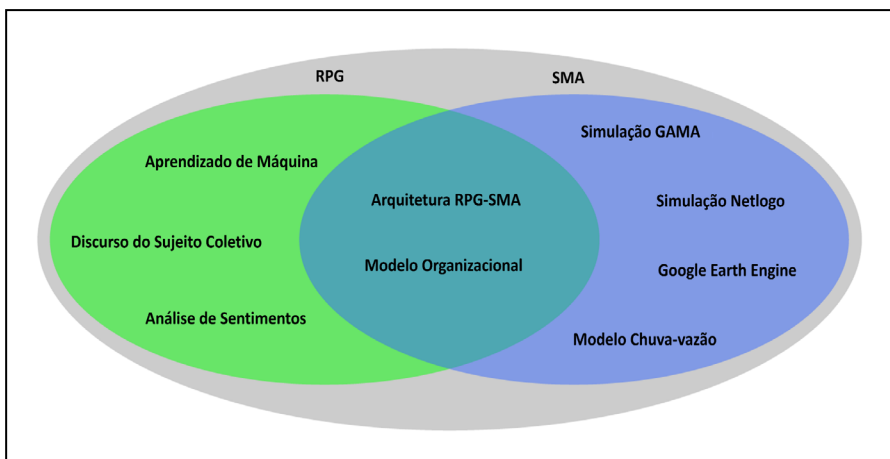


Figura 2. Trilhas do Projeto e as Integrações de SMA com RPG.

Inicialmente, apresentamos os dois resultados que integraram SMA e RPG, no qual definimos a arquitetura para executar nosso RPG, usando SMA e um modelo organizacional para ter o relacionamento correto entre todos os papéis e regras do RPG definidos. Em seguida, apresentaremos os produtos da abordagem SMA (utilizando distintas ferramentas), seguidos dos produtos RPG (utilizando diversas técnicas) para tratamento e análise dos dados.

Martins (2021) apresenta a arquitetura para integrar RPG, SMA e jogadores reais e virtuais (Figura 3). A proposta dessa arquitetura baseia-se na abordagem Servidor-Cliente. No *Backend*, o Banco de Dados armazena todas as ações dos jogadores (agentes), atuando como um log do sistema, no qual, para cada função do RPG, existe um arquivo para armazenar as ações realizadas durante uma sessão de jogo. Ainda, no Motor do Jogo, todas as ações de RPG implementadas são executadas durante as sessões de jogo, e esse motor é desenvolvido em Java e

o apresentamos em Martins; Adamatti (2021). Na interface, cada jogador e cada papel do RPG tem uma página web diferente, pois as ações possíveis para qualquer um são diversas. Por exemplo, o agricultor pode comprar produtos para os empresários e o fiscal pode impor multas aos produtores. Desenvolvemos essas páginas da Web em Java Spring Boot⁵ que têm o RESTFull WebService, que facilita a comunicação entre as páginas da *engine* e do *player*.

Nos Agentes Virtuais, como NPCs, cada jogador tem uma implementação cognitiva de qualquer função do RPG, de acordo com uma visão específica de como os jogadores devem interagir e escolher as ações. Desenvolvemos esse componente no *framework Jacamo*⁶. Na Figura 3, há uma comunicação transparente entre jogadores reais e virtuais com o *backend* (banco de dados e *engine*) porque todas as mensagens têm formato JSON. Os diagramas UML e todas as funções do motor do jogo foram definidas formalmente em Martins e Adamatti (2021).

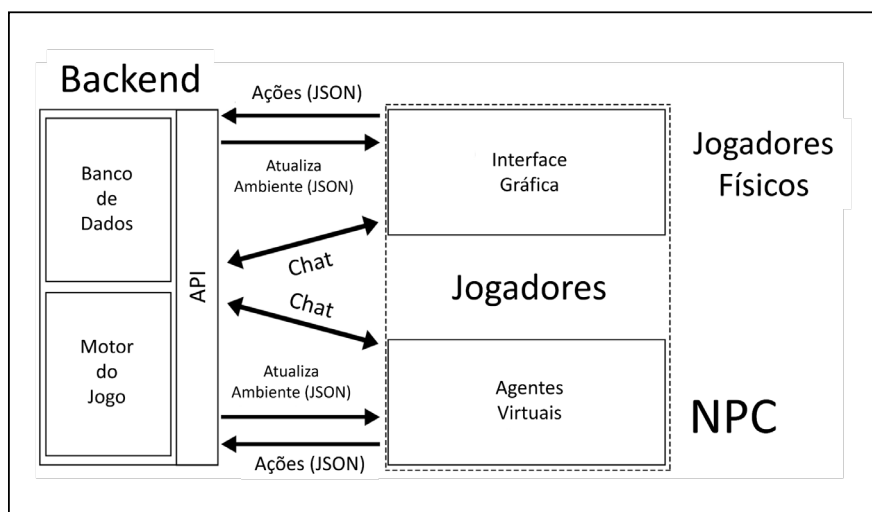


Figura 3. Arquitetura para o RPG e o SMA.

⁵ <http://spring.io/>

⁶ <http://jacamo.sourceforge.net/>

Representamos a especificação estrutural da organização para este estudo de caso na Figura 4 (BORN, 2023). Essa especificação estrutural possui quatro grupos: Jogo, Reguladores, Supervisores e Produtores, considerando que a interação pode ser interna e externa a eles. Todos os papéis são herdados do papel Jogador e possuem interação bilateral. Ainda assim, cada grupo e função tem as cardinalidades correspondentes deste estudo. Por exemplo, o grupo dos Reguladores é formado pelas funções de prefeito e vereador. O grupo de Supervisores é composto pelas funções de ONG e fiscal, considerando que a ONG é um NPC (personagem não-jogador). E, finalmente, o grupo dos Produtores é formado pelas funções de empresário e agricultor.

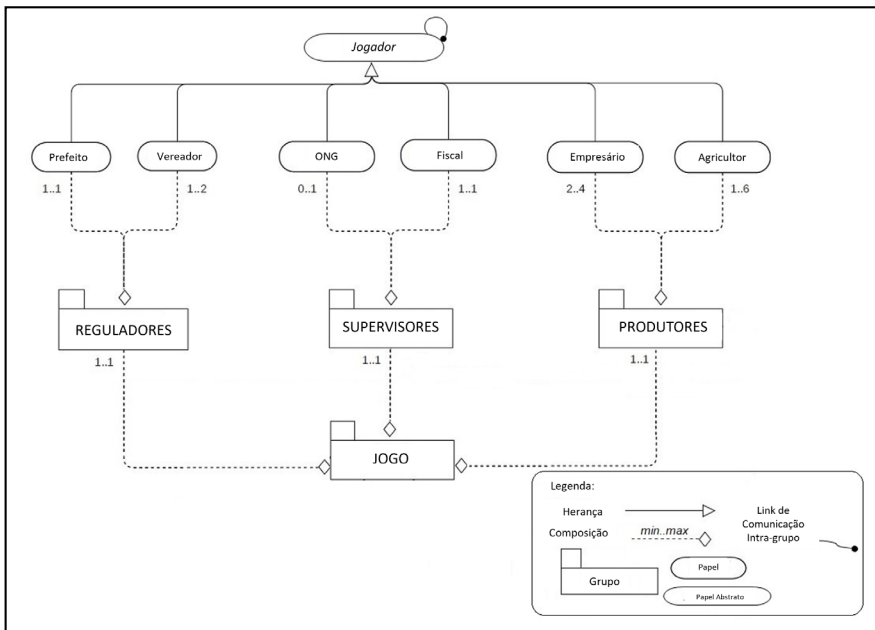


Figura 4. Especificação estrutural do modelo proposto.

A princípio, podemos considerar três objetivos globais de todo o sistema: produzir, fiscalizar e regular. No entanto, vários objetivos possíveis poderiam ser listados para essa organização e até cenários diferentes para cada um. Assim, concluímos especificações funcionais e normativas/deônticas e cenários hipotéticos que visam verificar a modelação da organização.

Fizemos a modelagem da bacia hidrográfica, para análise dos recursos hídricos, utilizando a plataforma GAMA, Figura 5 (FARIAS *et al.*, 2020). Vale comentar que o GAMA é uma plataforma baseada em agentes, amplamente empregada nesse contexto, conforme evidenciado por inúmeras pesquisas publicadas. Consideramos os dados geográficos da região de estudo, em que cada região hidrográfica e seus rios foram considerados agentes do modelo. Como resultado, as simulações possibilitaram diversas análises do ambiente, como consumo e taxa de produção de água por região, volume de água dos rios em cada região e fluxo de água entre os rios das regiões vizinhas.

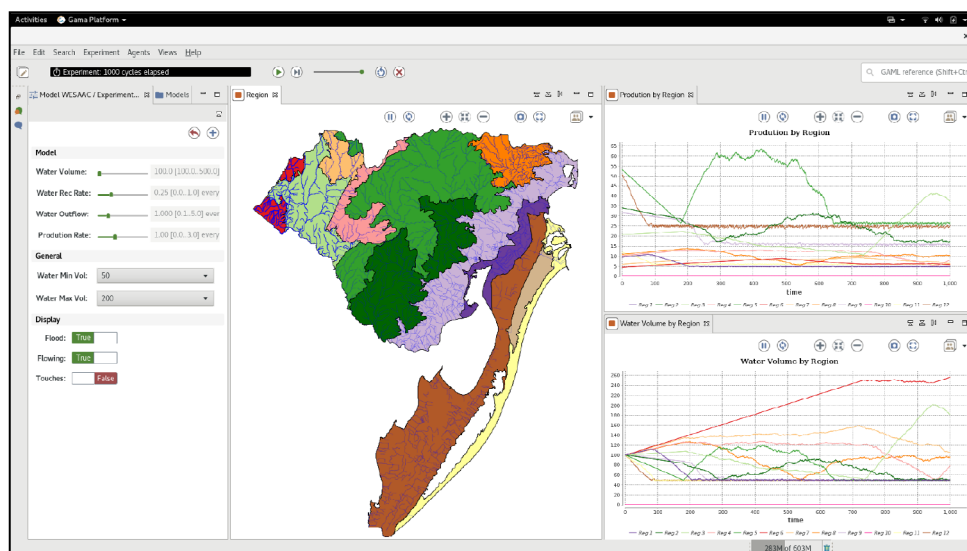


Figura 5. Interface do modelo no GAMA.

Apresentamos resultados e análises de quatro simulações, duas considerando a área total da região para cálculo de produtividade e consumo de água e as outras duas os tipos de capacidade de uso do solo presentes na região. Isso permitiu simular diferentes situações entre as regiões hidrográficas e observar que cada agente interfere significativamente no ambiente do outro. Quando a tomada de decisão é realizada de forma participativa, as partes envolvidas tendem a melhorar suas condições ou, pelo menos, manterem-se estáveis diante de possíveis problemas. Em contraste, a simulação sem participação apresenta

situações preocupantes porque os agentes não compartilharam seus recursos, e a maioria deles teve perda significativa ou total de produção.

O jogo GORIM também foi modelado⁷ usando o software NetLogo, uma linguagem de programação multiagente e ambiente de modelagem para simular fenômenos naturais e sociais complexos (TISUE; WILENSKY, 2004). O NetLogo nos ajudou a investigar a relação entre o comportamento individual em padrões de nível micro e macro que resultam em interações individuais. Usado por uma ampla gama de cientistas e profissionais, é regularmente usado em pesquisas de ponta (CHAUDHRY, 2016).

A Figura 6 ilustra a interface de simulação contendo botões, interruptores, controles deslizantes e seletores que permitem aos usuários interagirem com o modelo e explorar diferentes cenários ou hipóteses. Na visão do modelo, na parte superior, estão quatro tipos de empresários com suas respectivas empresas, a prefeitura, o fiscal de meio ambiente e o prefeito. No meio, há um rio, que escurece com o aumento da poluição global, e duas pontes sobre as quais os agentes caminham. Na parte inferior, encontram-se até seis agricultores e suas fazendas. Dividimos as fazendas em seis lotes de terras onde os produtos adquiridos podem ser colocados. As propriedades do agente, como poluição individual, produtividade, multa e imposto pago, são colocadas ao lado de cada agente na exibição. As informações sobre a poluição global estão localizadas no centro do rio.

Foram, também, realizados experimentos para entender o efeito no comportamento do modelo GORIM ao fazer alterações nas configurações do modelo. Por exemplo, os efeitos na poluição global do uso de certos tipos de sementes com pesticidas, fertilizantes ou máquinas; efeito sobre a poluição global ao não impor multas aos produtores, o efeito sobre a poluição de agricultores e empresários e sobre a poluição global do uso de pulverizadores, o efeito na poluição global quando os tratamentos de poluição são realizados, entre outros. Essas e outras análises podem ser verificadas usando o modelo GORIM implementado no NetLogo.

7 <http://github.com/mbelchior/NetLogo-Gorim>

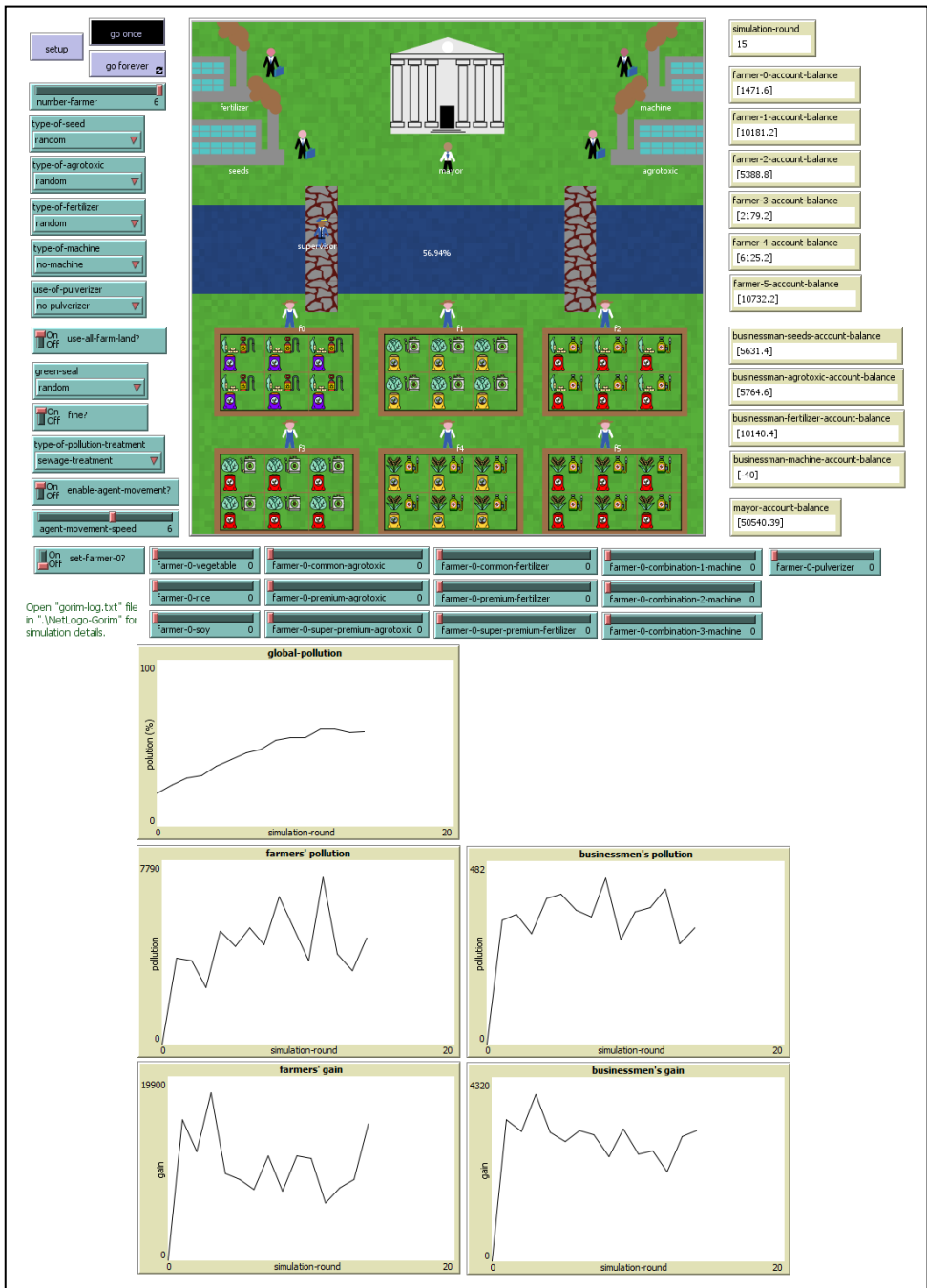


Figura 6. Interface do modelo no NetLogo.

No contexto do trabalho, desenvolvemos o Visualizador de Água e Solo⁸ como uma ferramenta no *Google Earth Engine* (GEE) para a análise do uso da terra e de recursos hídricos na região da bacia do estado do Rio Grande do Sul (Figura 7). O Visualizador de Água e Solo compreende dois componentes: uso da terra e índice pluviométrico. O componente Uso do Solo tem como principais funções a apresentação da cobertura e uso do solo no Rio Grande do Sul ou em sub-regiões do estado e a análise da cobertura ou uso do solo limitado por região em uma determinada escala de tempo.

Na apresentação e na análise da cobertura e uso do solo, são utilizados como limites geográficos os arquivos das localidades que compõem a região da Bacia Mirim-São Gonçalo e o limite que demarca o estado do Rio Grande do Sul, que a Secretaria Estadual do Meio Ambiente fornece. O componente Índice de Chuva tem como função principal a análise da precipitação em uma determinada região, utilizando os limites geográficos do estado do Rio Grande do Sul. Pode ser feito por meio de dados de satélites ou dos bancos de dados das estações pluviométricas do estado do Rio Grande do Sul (GONÇALVES *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2022).

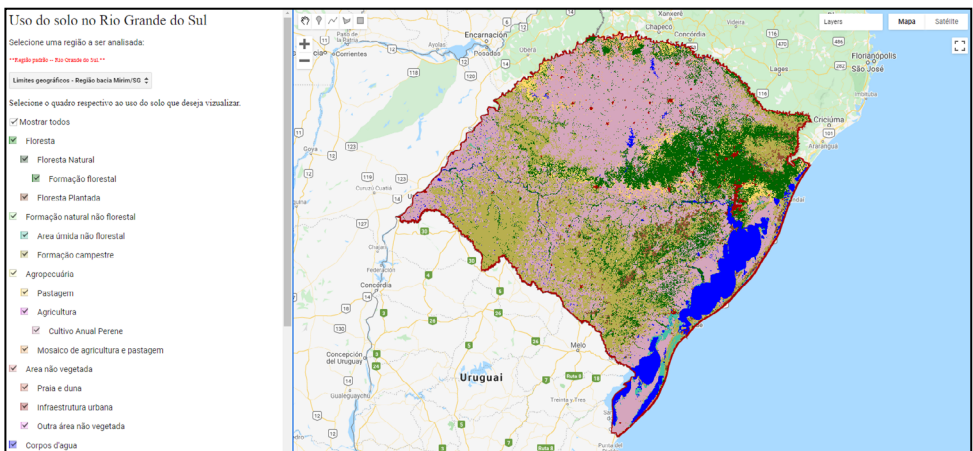


Figura 7. Interface do Visualizador de Água e Solo no GEE.

⁸ <http://m2gonsalvez.users.earthengine.app/view/v15-08>

Quando concluirmos as etapas do MABS que envolvem o GORIM, será necessário anexar uma ferramenta que forneça o comportamento da Bacia Mirim-São Gonçalo, acoplando um modelo chuva-vazão (*Rainfall-Runoff Model* – RRM), para descrever o fluxo na saída da bacia hidrográfica, com base em variáveis, como precipitação, evapotranspiração e interceptação (HROMADKA, 1990). Dessa forma, é possível obter o volume de água no ambiente após alterar as variáveis espaciais ou temporais (LEITZKE; ADAMATTI, 2021; LEITZKE; ADAMATTI, 2022; LEITZKE; ADAMATTI, 2023). Escolhemos, diante disso, o RRM *Lavras Simulation of Hydrology* (LASH) (CALDEIRA *et al.*, 2019) para representar os processos da bacia hidrográfica, pois ele tem módulos como Sistema de Análise de Aquisição de Dados Hidrológicos (SYHDA) (VARGAS *et al.*, 2019) e ArcLASH, que foram utilizados para o estudo, tratamento e adequação do banco de dados da Bacia Mirim-São Gonçalo.

Para o acoplamento inicial dos modelos, utilizamos a Bacia Arroio Fragata, pois temos dados espaciais e temporais, e a discretização espacial da região foi mais significativa. Na Figura 8, é possível visualizar a região da Bacia Arroio Fragata, o mapa de uso do solo, a discretização e os agentes que modificam o uso do solo em cada célula (LEITZKE; ADAMATTI, 2023).

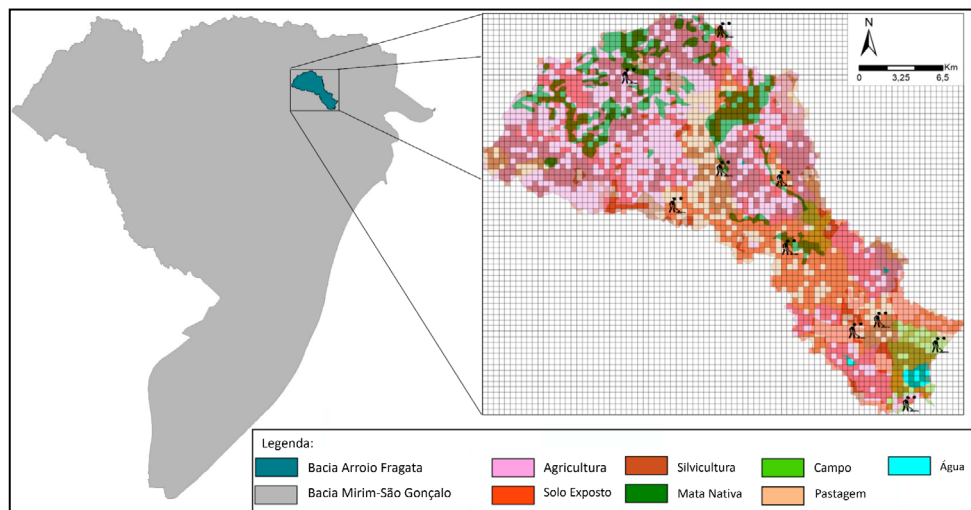


Figura 8. Representação da Bacia do Arroio Fragata no GAMA.

Nos trabalhos (MELO, 2020; MELO; ADAMATTI, 2020; MELO; ADAMATTI, 2021), utilizamos os dados dos *logs* das sessões do GORIM e aplicamos técnicas de aprendizado de máquina para mapear as estratégias dos jogadores. Utilizamos árvores de decisão geradas pelo software WEKA⁹, obtendo um percentual de acerto entre 53% e 100% e, por meio da análise das árvores, encontramos as estratégias dos jogadores. Como resultado, foram extraídas e mapeadas 38 estratégias, auxiliando no melhor entendimento do jogo e proporcionando a percepção de como os jogadores tomam suas decisões. A Tabela 1 apresenta algumas das estratégias mapeadas. Nesses exemplos, os papéis de Agricultores, Empresários e Supervisores tentaram lucrar, cooperar e negociar. A maioria das estratégias mapeadas referem-se ao papel do Agricultor por ele ter mais ações no jogo.

Tabela 1. Exemplos de estratégias mapeadas.

ESTRATÉGIA	PAPEL
Tentando ter alta produtividade, não importa a poluição.	Agricultor
Agricultores e empresários que têm baixa produtividade e baixa poluição realizam mais transferências de recursos em comparação com agricultores e empresários com alta produtividade e alta poluição.	Agricultor Empresário
Os fiscais ignoram alguns casos e não multam agricultores que geram alta poluição.	Fiscal
Os agricultores buscam um equilíbrio entre plantações que geram poluição e plantações que geram poluição mínima.	Agricultor
Quando o valor de negociação dos preços de venda dos agrotóxicos é normal ou alto, o número de Agricultores que utilizam agrotóxicos diminui.	Agricultor Empresário
Os prefeitos que realizam tratamento de esgoto também realizam tratamento de água.	Prefeito

⁹ <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

Também fizemos a análise das estratégias utilizadas pelos jogadores do RPG GORIM no contexto dos recursos hídricos por meio do Discurso do Sujeito Coletivo (DSC). Além disso, analisamos a importância do uso do jogo para entender o problema da poluição e a complexidade da gestão da água. Como resultado, apresentamos as falas por meio de entrevista semiestruturada com base na técnica do DSC, conforme Figura 9. O método utilizado, do Discurso do Sujeito Coletivo (LEFEVRE; LEFEVRE, 2014), demonstrou a opinião do grupo, construindo o discurso a partir da opinião dos sujeitos de um coletivo para preservar a condição qualitativa e quantitativa do grupo (BORN *et al.*, 2023; BORN *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2020).

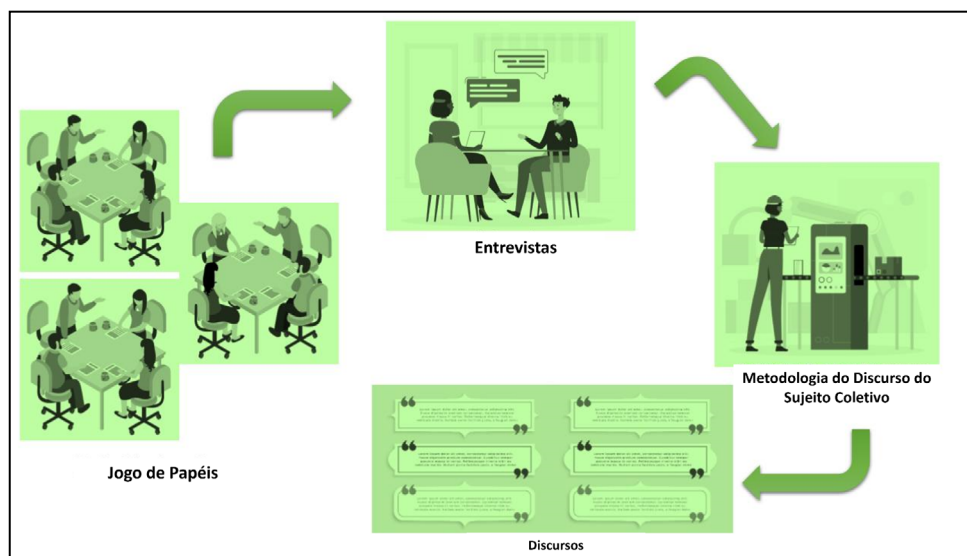


Figura 9. Metodologia DSC aplicada ao RPG GORIM.

Vale destacar que, a partir deste estudo, concluímos a importância da água para a sobrevivência e, também, os problemas de representação de papéis, ou seja, a falta de ligação entre a realidade e o jogo. Além disso, também analisamos a importância do uso do jogo para entender o problema da poluição e entender a complexidade relacionada à gestão da água.

Por fim, no contexto de aprendizagem, o jogo pode auxiliar na compreensão do problema, permitindo analisar como cada jogador vê a situação a partir de

sua própria perspectiva e como planeja seu papel no jogo. Realizamos pesquisas construindo análises qualitativas e quantitativas das propriedades linguísticas, resultando em cinco discursos sintéticos escritos em primeira pessoa do singular ou do plural. Por fim, acreditamos que os jogos, principalmente os jogos de RPG, podem auxiliar os indivíduos no processo de aprendizagem, fornecendo cenários que permitem vivenciar novas ações do mundo real durante o jogo (BORN *et al.*, 2023; BORN *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2020; 2021).

Buscamos, ainda, entender o comportamento dos jogadores nos jogos, a partir do entendimento de suas emoções (RAMOS, 2021). O RPG GORIM serviu de base para coleta de dados a partir das negociações entre os jogadores, chamadas de transações. As transações têm registros padronizados e não padronizados. Os registros padronizados relacionam-se ao leque de ações permitidas a cada agente de RPG, o que permite que cada ação seja registrada formalmente. Já os registros não padronizados referem-se a como os agentes negociam ações que serão executadas de forma padronizada.

Por se tratar de um RPG de gestão participativa dos recursos hídricos, os níveis de poluição do mundo (proveniente do ambiente do jogo) são usados para medir a saúde do meio ambiente. Altos níveis de poluição levam a perdas de produção proporcionalmente significativas para agricultores e empresários. Informamos, ainda, que utilizamos técnicas de análise de sentimento para identificar emoções considerando as teorias propostas por Ekman (1993) e Plutchik (1991) nas negociações que ocorreram entre os jogadores do RPG GORIM e incluímos essa informação subjetiva na geração de modelos preditivos de níveis de poluição.

A proposta do RPG GORIM evoluiu para um aplicativo móvel¹⁰ que trouxe várias vantagens aos jogadores (QUINTANA *et al.*, 2022). Todas as informações relevantes ao jogo ficaram disponíveis ao usuário de forma clara. A implementação e a persistência das ações tomadas pelos jogadores contribuíram para deixar o jogo mais fluido e rápido. Informações, como o saldo do personagem, polui-

¹⁰ <https://www.dropbox.com/s/6u1ztuiubgsnrpx/Gorim-App.apk>

ção e produtividade por parcela de terra, poluição e produtividade do personagem, poluição do ambiente, imposto a ser pago são atualizadas pelo aplicativo em tempo real e disponibilizadas aos jogadores por meio das interfaces. Isso contribui para melhor entendimento do jogo e das estratégias tomadas pelos jogadores, além de auxiliar no entendimento das consequências das ações executadas. Foi implementado, também, um cronômetro regressivo (temporizador) para cada etapa/atividade, não sendo necessário o papel de um Mestre para esse controle. O aplicativo facilitou, ainda, o envio de anúncios, pelos personagens Empresários, a todos os agricultores, de forma mais fácil e direta.

O aplicativo mobile foi desenvolvido para o sistema operacional Android utilizando o *framework* React Native¹¹. A Figura 10 mostra as interfaces do Empresário de Sementes. O jogador que desempenhar esse papel pode selecionar um tipo de semente (Figura 10a) e enviar um anúncio a todos os agricultores ou individualmente (Figura 10b), selecionando uma quantidade e preços preestabelecidos durante a negociação entre o empresário e o agricultor.

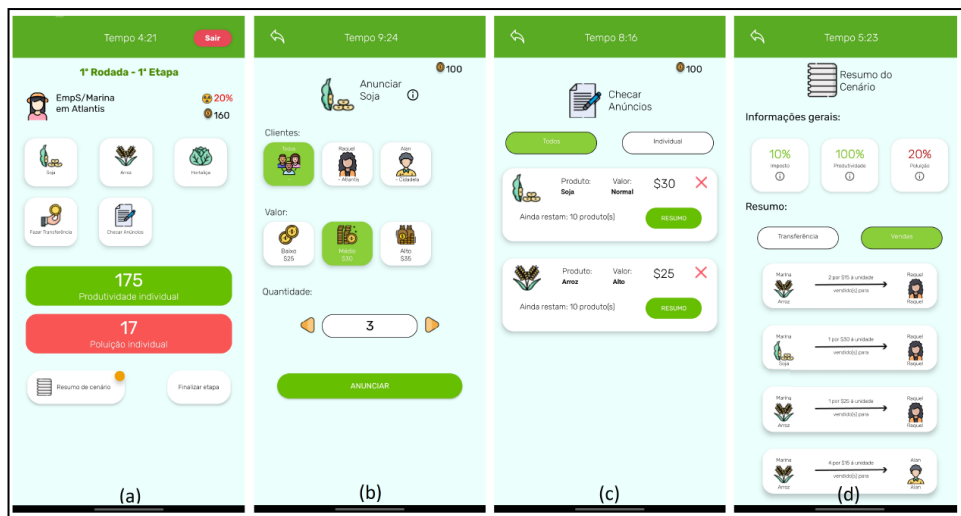


Figura 10. Interface do Empresário de Sementes

11 Disponível em: <https://reactnative.dev/>

À medida que os produtos são comprados pelos agricultores, a quantidade restante do produto é atualizada e mostrada ao empresário e demais agricultores. Na interface de todos os empresários, é possível checar os anúncios realizados, a quantidade de produtos vendidos, além de remover um anúncio (Figura 10c). No resumo do cenário (Figura 10d), são mostradas as transferências e as vendas concretizadas, com informações sobre o preço, produto, quantidade e agricultor que realizou a compra.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

O Projeto proporcionou a formação de recursos humanos, produção científica e tecnológica, apresentação de trabalhos completos em eventos e na produção de programas de computador. Foram concluídas 3 dissertações de mestrado, 2 teses de doutorado, treinamento de 3 Pós-Doutorados além de 6 monografias de iniciação científica. Em relação à produção científica e tecnológica foram 6 artigos publicados em revistas científicas, 15 artigos científicos em anais de congressos, 4 programas de computador além de apresentação de trabalhos desenvolvidos no *Workshop Projeto SMA e Jogos*.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

KARINE PESTANA RAMOS. Utilizando um classificador de sentimento baseado em léxico em negociações de jogos de RPG para fazer previsões no contexto de recursos naturais.
<http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/7718>

VINÍCIUS BORGES MARTINS. *GorimWEB*: um RPG para Gestão de Recursos Hídricos na plataforma Web.
<http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/7718>

MARLA ROSANA PEREIRA MELO. Mineração de Dados no Domínio de Gestão de Recursos Naturais: Descoberta de estratégias em um RPG.
<https://argo.furg.br/?BDTD12619>

DOUTORADO

MÍRIAM BLANK BORN. Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades.
<http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/8582>.

BRUNA DA SILVA LEITZKE. Simulação Sócio Hidrológica Na Gestão de Recursos Hídricos: uma abordagem de uso integrado do modelo chuva-vazão e sistemas multiagente

PÓS-DOUTORADO

GIOVANI PARENTE FARIAS; FERNANDA PINTO MOTA E MAIRON DE ARAÚJO BELCHIOR.

OUTROS

MATHEUS MATEUS GONÇALVES. Bolsista PROBIC - FAPERGS 2018-2020 (bolsa institucional IC).

KAUÃ RIJO AGUIAR. Bolsista Pesquisa IFRS (Fomento Interno). 2020.

SÍLVIO GULARTE QUINTANA. Bolsista Pesquisa IFRS (Fomento Interno). 2020.

MARINA FERNANDES DA SILVA. Bolsista Pesquisa IFRS (Fomento Interno). 2021.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. F. Uso de sistema multiagente para análise da mudança no uso do solo em uma bacia hidrográfica do Brasil. *Contemporânea - Revista de Ética e Filosofia Política*, v. 3, p. 5427-5444, 2023.

MOTA, F. P.; GONCALVES, M.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Visualizador de água e solo: uma ferramenta de suporte ao gerenciamento de recursos naturais e sua aplicabilidade em sistemas multiagente. *NATIVA*, v. 10, p. 296-306, 2022

BORN, M. B.; MOTA, F. P.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Utilização do Discurso do Sujeito Coletivo para Descoberta de Estratégias de Indivíduos em Jogos na Gestão de Recursos Hídricos. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 11, p. 118-133, 2022.

MOTA, F. P.; BORN, M. B.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. The Strategies of the Players of an RPG Game in the Context of Water Resources Management: an analysis based on the Discourse of the Collective Subject. *Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental*, v. 25, p. 1-26, 2021.

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. F. Multiagent System and Rainfall-Runoff Model in hydrological problems: a Systematic Literature Review. *Water*, v. 13, p. 1-25, 2021.

FARIAS, G. P.; LEITZKE, B.; BORN, M. B.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Análise de Recursos Hídricos: Uma Abordagem Baseada na Modelagem de Agentes. *Revista de informática teórica e aplicada: RITA*, v. 27, p. 81-95, 2020.

ARTIGOS CIENTÍFICOS EM EVENTOS

BORN, M. B.; ADAMATTI, D. F.; AGUIAR, M. S. Modeling organizational level of agents with Moise+ to a natural resources management RPG. In: *The Florida Artificial Intelligence Research Society*, 2023, Miami EUA. FLAIRS 2023. Miami EUA: Florida Online Jornal, 2023. v. 1. p. 1-6.

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. F. Land use management using Multi-Agent Based Simulation in a watershed in south of Brazil. In: *The 23rd International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation*, 2022, Auckland, New Zealand. MABS 2022. Berlin / Alemanha: Springer, 2022. v. 1. p. 1-12.

MOTA, F. P.; BORN, M. B.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Jogos como Ferramenta no Processo de Educação Ambiental: um experimento utilizando RPG e DSC. In: *XII Workshop de Computação Aplicada ao Meio Ambiente e aos Recursos Naturais*, 2022, Niterói / RJ. WCAMA 2022. Porto Alegre / RS: SBC, 2022. v. 1. p. 1-10.

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. F. Uso de Sistema Multiagente para análise da mudança no uso do solo em uma bacia hidrográfica do Brasil. In: *Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações*, 2022, Blumenau / SC. WESAAC 2022. Blumenau / SC: UFSC, 2022. v. 1. p. 1-12.

MOTA, F. P.; GONCALVES, M.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Sistema Multiagente para analisar fluxos d'água na Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo a partir da plataforma Google Earth Engine. In: *Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações*, 2022, Blumenau / SC. WESAAC 2022. Blumenau / SC: UFSC, 2022. v. 1. p. 1-12.

GONCALVES, M.; MOTA, F. P.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Visualizador de Água e Solo: Uma aplicação voltada para o gerenciamento de recursos naturais desenvolvida na plataforma Google Earth Engine. In: *XII Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, 2021, Florianópolis / SC. WCAMA 2021. Porto Alegre / RS: SBC, 2021. v. 1. p. 1-10.

MELO, M. P.; ADAMATTI, D. F. Uma análise baseada em árvores de decisão para suporte ao aprendizado em um jogo de RPG de gestão participativa de recursos naturais. *In: XXIX Ciclo de Palestras sobre Novas Tecnologias na Educação*, 2021, Porto Alegre / RS. CINTED 2021, 2021. v. 1. p. 1-10.

MARTINS, V. B.; ADAMATTI, D. F. Natural Resources Management applied to Multiagent Systems and Role-Playing Games. *In: 17th International Conference on Distributed Computing and Artificial Intelligence*, 2020, L' Aquila / Italia. DCAI 2020. Berlin: Springer, 2020. v. 1.

MOTA, F. P.; BORN, M. B.; ADAMATTI, D. F.; AGUIAR, M. S. Mapping needs, motivations, habits, and strategies of RPG players in the context of water resources management. *In: 2020 Frontiers in Education (FIE)*, 2020, Uppsala / Suécia. 2020 Frontiers in Education (FIE 2020), 2020. v. 1. p. 1-8.

MOTA, F. P.; BORN, M. B.; FARIAS, G. P.; GONCALVES, M.; LEITZKE, B.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Estudo comparativo em GAMA e Google Earth Engine: possibilidades para a área de sistemas multiagente. *In: 14º. Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações*, 2020, Ponta Grossa / PR. WESAAC 2020. Ponta Grossa / PR: UTFPR, 2020. v. 1. p. 1-12.

BORN, M. B.; ADAMATTI, D. F.; AGUIAR, M. S. Modelagem da Organização de um Sistema Multiagente no Contexto de Recursos Hídricos. *In: 14º. Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações*, 2020, Ponta Grossa / PR. WESAAC 2020. Ponta Grossa / PR: UTFPR, 2020. v. 1. p. 1-12.

MARTINS, V. B.; BARBOSA, RAQUEL M.; ADAMATTI, D. F. Sistemas Multiagente e Jogos de Papéis Aplicados à Gerenciamento de Recursos Naturais. *In: 14º. Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e aplicações*, 2020, Ponta Grossa / PR. WESAAC 2020. Ponta Grossa / PR: UTFPR, 2020. v. 1. p. 1-12.

MELO, M. P.; ADAMATTI, D. F. Mineração de Dados no Domínio de Gestão de Recursos Naturais Descoberta de estratégias em um RPG. *In: Workshop de Computação Aplicada ao Meio Ambiente e aos Recursos Naturais*, 2020, Cuiabá, MT.

MOTA, F. P.; GONCALVES, M.; ADAMATTI, D. F.; AGUIAR, M. S. Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos. *In: Workshop de Computação Aplicada ao Meio Ambiente e aos Recursos Naturais*, 2020, Cuiabá, MT.

QUINTANA, S. G.; SILVA, M. F.; SANTOS, A. S.; BELCHIOR, M. A.; BARBOSA, RAQUEL M. Gorim: um Jogo RPG para a Gestão de Recursos Hídricos. *In: Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2022)*, 2022, Natal, RN.

PROGRAMAS DE COMPUTADOR SEM REGISTRO

GONCALVES, M.; PINTO, F. M.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. Visualizador de Água e Solo. 2020.

MARTINS, V. B.; MELO, M. P.; BORN, M. B.; FARIAS, G. P.; LEITZKE, B.; RODRIGUES, P. G.; AGUIAR, M. S.; ADAMATTI, D. F. GORIM - Um RPG na área de gestão dos recursos hídricos. 2019

BELCHIOR, M. A.; BARBOSA, DE MIRANDA, R. Simulação Gorim no NetLogo. 2021.

PROGRAMAS DE COMPUTADOR COM REGISTRO:

QUINTANA, S. G.; SILVA, M. F.; SANTOS, A. S.; BARBOSA, DE MIRANDA, R.; BELCHIOR, M. A. Gorim. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512023000420-0, data de registro: 22/12/2022, título: "Gorim", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2022.

WORKSHOP PROJETO SMA E JOGOS:

APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO PROJETO. Parte do WCAMA - XIII Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais. <https://csbc.sbc.org.br/2022/wcama/>

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A gestão dos recursos naturais torna-se tema cada vez mais relevante nos dias de hoje dada a complexidade da área. Por isso, técnicas que auxiliam nesse problema vêm sendo estudadas há vários anos, e uma delas é a integração de Sistemas Multiagente e RPG. O presente estudo apresenta superficialmente os resultados do Projeto¹² no que tange à integração dessas duas técnicas, no contexto da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo no sul do Brasil.

¹² <http://gprh.c3.furg.br/>

Os trabalhos apresentados utilizam a definição do Jogo RPG GORIM, que foi desenvolvido para o estudo de caso da Lagoa Mirim e Bacia Hidrográfica do Canal São Gonçalo. Identificamos os grupos, interações e ações dos agentes pertencentes a esse sistema SMA nesse contexto. Com base nessas informações, foi desenvolvido o motor de cálculo das ações/estratégias utilizadas pelos personagens do RPG GORIM, e modelado o SMA em nível organizacional dos agentes com sua especificação estrutural na ferramenta Moise+.

Além disso, foi desenvolvida uma definição a respeito da integração das duas técnicas, SMA e RPG, para situar os trabalhos produzidos até o momento. Também foram utilizadas algumas ferramentas para programação de sistemas multiagentes, como GAMA, Visualizador de Água e Solo e NetLogo para simular situações do RPG GORIM. As duas primeiras ferramentas simularam informações sobre a bacia hidrográfica: o ambiente em que este estudo de caso foi concebido. Na ferramenta NetLogo, as simulações testaram diferentes situações que podem ser geradas pelos personagens/agentes e seu comportamento durante o GORIM. Além disso, o modelo hidrológico denominado modelo Chuva-Vazão foi utilizado para descrever a vazão na saída da bacia hidrográfica deste estudo de caso.

As sessões do RPG GORIM produziram ampla gama de informações e estratégias que emergiram das ações dos personagens/agentes durante as partidas, por isso, foram utilizadas técnicas de aprendizado de máquina para mapear essas estratégias. O resultado desse mapeamento possibilitou a geração de informações que auxiliaram no entendimento da dinâmica do GORIM e proporcionaram a percepção de como os jogadores tomam suas decisões durante o jogo. Além disso, a técnica do Discurso do Sujeito Coletivo foi utilizada, neste estudo de caso, para entender o problema envolvido e analisar as estratégias de jogo definidas por cada personagem do Jogo GORIM. Outra técnica usada foi a análise de sentimento que identifica as emoções dos jogadores de GORIM RPG por meio de seus diálogos durante as partidas. Dessa forma, nosso trabalho apresentou distintas e promissoras técnicas de Inteligência Artificial na gestão de recursos naturais. Sistemas multiagentes e RPG serviram para modelar e simular a dinâmica de sistemas complexos, conforme exemplo deste estudo de caso.

PERSPECTIVAS

A partir das ferramentas desenvolvidas e dos dados obtidos dos jogos e das entrevistas, ainda temos muito material a ser analisado e novas técnicas computacionais a serem testadas. Vislumbramos diversos trabalhos a serem realizados e pesquisas ainda mais focadas na gestão de recursos hídricos, incluindo coleta de dados por sensores para modelagem e visualização de dados em tempo real, bem como predição de sistemas, via simulação, com a ferramenta acoplada de simulação e modelo chuva-vazão. Vale observar que o jogo proposto pode ser ampliado, criando-se personagens, de forma a atender diferentes realidades, tornando-se, assim, uma ferramenta com uma escalabilidade muito ampla.

REFERÊNCIAS

- ADAMATTI, D. F. **Inserção de Jogadores Virtuais em Jogos de Papéis para Uso em Sistemas de Apoio à Decisão em Grupo: um Experimento na Gestão de Recursos Naturais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007 (Tese de Doutorado).
- BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; DE MELLO, C. R.; *et al.* Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 123-133, 2015.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; *et al.* Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 18, 2014.
- BORN, M. B.; *et al.* Utilização do Discurso do Sujeito Coletivo para Descoberta de Estratégias de Indivíduos em Jogos na Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2021.
- BORN, M. B. **Modelagem a nível organizacional de agentes em um jogo do tipo RPG: estudo da complexidade de seus personagens e de suas funcionalidades**. 2023. 131 f. (Tese Doutorado); Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.
- BORN, M. B.; *et al.* Utilização de RPG e DSC no contexto de recursos hídricos para análise das estratégias dos jogadores. **Cuadernos de educación y desarrollo**, 2023.
- CALDEIRA, T. L.; *et al.* **LASH hydrological model: An analysis focused on spatial discretization**. *Catena*, [s. l.], v. 173, p. 183–193, 2019.

CHAUDHRY, Q. A. **An introduction to agent-based modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo: a review.** [S. l.]: Mit Press, 2016. v. 4

EKMAN, P. **Facial expression and emotion.** *American Psychologist*, USA, v. 48, n. 4, 1993.

FARIAS, G.; *et al.* **Systematic Review of Natural Resource Management using Multiagent Systems and Role-Playing Games.** Research in Computing Science. Veracruz, Mexico: [s. n.], 2019.

FARIAS, G. P.; *et al.* Water resources analysis: An approach based on agent-based modeling. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 81–95, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/2175-2745.94319>.

FULLER, M. M.; WANG, D.; GROSS, L. J.; BERRY, M. W. Computational science for natural resource management. **Computing in Science & Engineering**, 9(4):40–48, 2007.

GONÇALVES, M. M.; *et al.* Visualizador de Água e Solo: Uma aplicação voltada para o gerenciamento de recursos naturais desenvolvida na plataforma Google Earth Engine. *In: Anais do XII Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais.* [S. l.: s. n.], 2021. p. 157–166.

HROMADKA, T. V. **Rainfall-runoff models: A review.** *Environmental Software*, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 82–103, 1990.

HÜBNER, J. F.; SICHMAN, J. S.; BOISSIER, O. MOISE+: Towards a structural, functional, and deontic model for MAS organization. *In: Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents.* 2002. [S. l.: s. n.], 2002. p. 501-502.

KLIMICK, C. **Construção de Personagem & Aquisição de Linguagem: O Desafio do RPG no INES.** Dissertação (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação do Departamento de Artes e Design - PUC, Rio de Janeiro, 2003.

LE PAGE C.; BOBO K. S.; KAMGAING O. W. T.; *et al.* Interactive simulations with a stylized scale model to codesign with villagers an agent-based model of bushmeat hunting in the periphery of Korup National Park (Cameroon). **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, 18(1):8 <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/1/8.html>, 2015.

LE PAGE C.; DRAY A.; GARCIA C.; PEREZ P. Exploring how knowledge and communication influence natural resources management with REHAB. **Simulation & Gaming** 47(2): 257-284. <http://dx.doi.org/10.1177/1046878116632900>, 2016.

LEFEVRE, F.; LEFEVRE, A. M. C. Discourse of the Collective Subject: Social representations and communication interventions. **Texto e Contexto Enfermagem**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 502–507, 2014.

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. Multiagent system and rainfall-runoff model in hydrological problems: A systematic literature review. **Water** (Switzerland), [s. l.], v. 13, n. 24, 2021.

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. F. Land use management using Multi-Agent Based Simulation in a watershed in south of Brazil. *In: The 23rd International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation*, Auckland, New Zealand. MABS 2022. Berlin/Alemanha: Springer, 2022. v. 1.

LEITZKE, B.; ADAMATTI, D. F. Uso de Sistema Multiagente para Análise da Mudança no Uso do Solo em uma Bacia Hidrográfica do Brasil. *Contemporânea - revista de ética e filosofia política*, v. 3, p. 5427-5444, 2023.

MARTINS, V. B. **GorimWEB: um RPG para gestão de recursos hídricos na plataforma Web**. Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brasil, 2021.

MARTINS, V. B.; ADAMATTI, D. F. Multiagent systems and role-playing games applied to natural resources management. *In: Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, LAquina, Italia: [s. n.], 2021. p. 221–230.

MELO, M. R. P.; ADAMATTI, D. F. Uma análise baseada em árvores de decisão para suporte ao aprendizado em um jogo de RPG de gestão participativa de recursos naturais. *In: XXIX Ciclo de Palestras sobre Novas Tecnologias na Educação - CINTED*. Porto Alegre, Brasil: [s. n.], 2021.

MELO, M. **Mineração de dados no domínio de gestão de recursos naturais: Descoberta de estratégias em um RPG**. Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brasil, 2020.

MELO, M.; ADAMATTI, D. Mineração de Dados no Domínio de Gestão de Recursos Naturais: Descoberta de estratégias em um RPG. *In: XI Workshop de computação aplicada ao meio ambiente e aos recursos naturais - WCAMA*. Rio Grande, Brasil: [s. n.], 2020. p. 21–30.

MILLINGTON, I. **Artificial Intelligence for Games**. Morgan Kaufman: Elsevier. San Francisco, 2006. 856 p.

MOTA, F. P.; *et al.* Mapping needs, motivations, habits and strategies of RPG players in the context of water resources management. *In: Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*. [S. l.]: IEEE, 2020. p. 1–8. <https://doi.org/10.1109/FIE44824.2020.9273905>.

MOTA, F. P.; *et al.* The Strategies of the Players of an RPG Game in the Context of Water Resources Management: an analysis based on the Discourse of the Collective Subject. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, [s. l.], v. 25, p. e1, 2021.

MOTA, F. P.; *et al.* **visualizador de água e solo: uma ferramenta de suporte ao gerenciamento de recursos naturais e sua aplicabilidade em Sistemas Multiagente**. NATIVA, v. 10, 2022.

PERROTTON A.; WICHATITSKY, M. de G.; VALLS-FOX, H.; LE PAGE C. My cattle and your park: Co-designing a role-playing game with rural communities to promote multi-stakeholder dialogue at the edge of protected areas. **Ecology and Society** 22(1):35. 2017. <https://doi.org/10.5751/ES-08962-220135>.

PLUTCHIK, R. **The Emotions**. [S. l.]: University Press of America, 1991. (G-Reference, Information and Interdisciplinary Subjects Series). E-book. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=JaQauznPoiEC>.

QUINTANA, S. G.; SILVA, M. F.; SANTOS, A. S.; *et al.* Gorim: um Jogo RPG para a Gestão de Recursos Hídricos. *In: Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Anais do SBGames 2022. Natal, RN: 2022.

RAMOS, K. P. **Using a lexicon-based sentiment classifier in rpg game negotiations to make predictions in the context of natural resources**. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brazil, 2021. <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/7718>.

TISUE, S.; WILENSKY, U. Netlogo: A simple environment for modeling complexity. *In: Conference on Complex Systems*. 2004. [S. l.: s. n.], 2004. p. 1–10. Disponível em: <http://ccl.sesp.northwestern.edu/papers/netlogo-iccs2004.pdf>.

VARGAS, M. M.; *et al.* SYHDA – System of hydrological data acquisition and analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 24, p. e11, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312019000100401&nrm=iso.

**Planejamento estratégico integrado como
ferramenta para zoneamento
ecológico de bacias
hidrográficas**

Paulo De Marco Junior

Dilermando Pereira Lima-Junior

Ludier Kesser Santos Silva

Renato Zanella

Conciliar o aproveitamento hidroelétrico com a proteção da biodiversidade aquática é uma tarefa urgente dado a crescente necessidade de usinas hidroelétricas. Assim, nosso objetivo foi caracterizar um Plano Estratégico para a ocupação do Alto rio Araguaia por hidroelétricas, definindo quais rios são prioritários para conservação da biodiversidade. Para isso, respondemos as seguintes perguntas: (i) Quais são os rios mais importantes para desova de peixes na região? (ii) Qual é o potencial efeito do estabelecimento de hidroelétricas sobre áreas e indígenas e áreas prioritárias para a conservação? (iii) Há alguma tendência de modificação da vazão dos rios da bacia do Araguaia? (iv) Há contaminação dos rios da bacia por pesticidas? (v) Caso exista contaminação por pesticidas, há efeitos negativos sobre os peixes? Formamos três mestres, um doutor e contamos com o suporte de quatro doutores. Publicamos três artigos científicos e outros quatro estão em processo de revisão ou submissão. Como resultados, podemos indicar a importância de todos os rios da região para a reprodução dos peixes; uma clara tendência de redução da vazão dos rios da bacia do Alto rio Araguaia; a contaminação das águas da região por, pelo menos, cinco pesticidas e, finalmente, o efeito do contaminante sobre a ictiofauna.

Palavras-chave: bacia do rio Araguaia; conservação da biodiversidade; pesticidas; planejamento espacial, tendências temporais.

Barra do Garças, MT, agosto 2016: Prezado Prof. Paulo, bom dia. Aqui é o Prof. Dilermando (UFMT) que escreve. Hoje tivemos uma audiência pública sobre a construção de uma hidrelétrica no rio das Garças em Barra do Garças. Contribuí na discussão com o que pude, mas ao estudar mais o caso, fiquei preocupado, pois são mais de 50 empreendimentos hidrelétricos propostos para bacia do rio Araguaia. Essa quantidade de barragens vai ferir a bacia do rio Araguaia de morte (...).

Essa mensagem foi o embrião de nosso projeto de pesquisa. Sempre discutimos a necessidade de fazer Ecologia de forma mais prática, respondendo questões de conservação urgentes. Essa mensagem ficou latente, esperando oportunidade para ser colocada em prática. Poucos meses depois, o Edital Pró-recursos Hídricos permitiu que tirássemos essa ideia do papel.

Conciliar o aproveitamento hidrelétrico dos rios com a proteção da biodiversidade aquática e os seus serviços ecossistêmicos é tarefa urgente, dada a crescente demanda por energia elétrica e a necessidade de mais usinas hidrelétricas. Para iniciar essa discussão para o Araguaia, tínhamos como base os estudos realizados na bacia do Alto Pantanal e a discussões sobre priorização espacial. Algo bem inicial, praticamente uma carta de intenções.

Com a publicação do Edital do Pró-recursos Hídricos, elencamos aspectos que poderíamos trabalhar nesse projeto. A parte de avaliação espacial ficaria por minha conta, a coleta de ovos e larvas de peixes para identificação dos sítios reprodutivos de peixes ficaria a cargo do Prof. Dilermando. Mas ainda poderíamos mais. A bacia do Araguaia sofre intenso processo de modificação do uso do solo devido a expansão das fronteiras agrícolas.

Assim, uma busca no Google nos levou ao LARP (Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas). O LARP está sediado na Universidade Federal de Santa Maria e tem como um dos responsáveis o Prof. Renato Zanella. Após algumas mensagens, o Prof. Zanella já estava inserido na rede e seguimos pensando juntos. Caso a contaminação por pesticidas estivesse presente, supomos que já seria suficiente para causar danos aos organismos aquáticos da região. Assim, como nos falta juízo e nos sobra vontade, convidamos a professora Ludier Kesser, para participar da proposta, coordenando a linha de análise dos efeitos biológicos dos pesticidas. Então, a rede estava montada.

Este estudo tem como principal objetivo caracterizar um Plano Estratégico Integrado para estabelecer o ordenamento da ocupação dos rios Alto rio Araguaia, definindo quais rios são prioritários para a conservação da fauna aquática e dos processos ecossistêmicos. O principal produto é levantar informações biológicas que permita a alocação das hidroelétricas, respeitando-se critérios ecológicos mínimos, garantindo a manutenção de processos ecológicos-chave para a conservação da biodiversidade da região em longo prazo.

A construção de barragens em bacia hidrográfica fragmenta, homogeneiza o fluxo do sistema fluvial (GRILL *et al.*, 2015; NILSON *et al.*, 2005; POFF *et al.*, 2007) e diminui a disponibilidade de água para ecossistemas e pessoas à jusante da barragem (VELDKAMP *et al.*, 2017). A consequência direta dessa fragmentação é a alteração do fluxo de matéria e energia para toda a bacia hidrográfica, devido à retenção de água e sedimentos pelas barragens (GRILL *et al.*, 2015; LATRUBESSE *et al.*, 2017; SYVITSKI *et al.*, 2005; VÖRÖSMARTY *et al.*, 2003).

A retenção de sedimentos, por sua vez, diminui o aporte de nutrientes para outros *habitats* na bacia e em ambientes costeiros, tornando-os menos produtivos (FRIEDL; WÜST, 2002; MAAVARA *et al.*, 2014, 2015, 2017). Além disso, aumenta a capacidade erosiva da água ao torná-la menos saturada de sedimentos, e, como consequência desses fatores, pode mudar a dinâmica da relação rio e planície de inundação (BUNN; ARTHINGTON, 2002; POFF; ZIMMERMAN, 2010).

Especialmente no que se refere aos peixes neotropicais, sabemos que a maior parte deles realiza a migração reprodutiva (*i.e.*, a piracema). Com a construção de barragens, estabelece-se barreira física e química entre os sítios de desova (*i.e.*, os

rios de cabeceira) e as áreas berçário (*i.e.*, lagos na planície de inundação) (PELICICE *et al.*, 2015). De forma geral, as medidas mitigatórias propostas – como as escadas de peixes – não são eficazes e, muitas vezes, funcionam como armadilhas ecológicas (AGOSTINHO *et al.*, 2007, 2008, 2011; LOPES *et al.* 2021; PELICICE; AGOSTINHO, 2008). Conseqüentemente, como padrão comum aos sistemas fluviais fragmentados, provoca a perda de biodiversidade e a diminuição dos serviços a ela associada, tal como a pesca (AGOSTINHO *et al.*, 2016; HOEN-GHAUS *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2018; WINEMILLER *et al.*, 2016).

Além dos impactos ecológicos *per se*, as barragens e os reservatórios associados ainda podem magnificar outros problemas. Por exemplo, a poluição ambiental causada pelo aumento da concentração de metais pesados e de pesticidas pode ser potencializada nas áreas dos reservatórios, via acúmulo nos sedimentos ou ressuspensão do sedimento, devido ao tipo de manejo da usina (FRÉMION *et al.*, 2016). Por sua vez, esses contaminantes podem entrar na cadeia trófica e sofrer o processo de biomagnificação – *i.e.* o aumento da concentração da substância no decorrer da teia trófica – e, em última instância, afetar a saúde humana (JENSEN, 2019; NEVADO *et al.*, 2010; YAMAMURO *et al.*, 2019). Esses fatores são de grande importância para a saúde pública, porém, até o momento, pouco considerados nos processos decisórios.

A bacia do rio Araguaia possui área de drenagem de cerca de 377.000 Km² e descarga anual média de 6.240 m³s⁻¹ (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002). A maior parte da bacia encontra-se nos domínios do Cerrado. O Alto rio Araguaia, área do presente estudo, inicia-se no sudoeste de Goiás e sudeste de Mato Grosso e segue até a localidade de Registro do Araguaia. Sua porção média, de Registro do Araguaia até Conceição do Araguaia, é uma área extensa de planície aluvial, composta por mosaico de florestas aluviais e lagos de várzea (LINGER; LATRUBESSE, 2016). Associada a essa bacia, há rica sociobiodiversidade constituída por unidades de conservação (p.ex. Parque Nacional do Araguaia), comunidades tradicionais (p.ex. o Retireiros do Araguaia) e povos indígenas (p.ex. Bororós, Xavantes e Carajás).

As populações humanas que vivem na bacia têm forte ligação com o rio Araguaia e seus afluentes e a maior parte das atividades se desenvolvem ao longo de suas margens. O turismo é forte componente econômico das cidades da bacia.

Estimativas de custos de viagens, como medida indireta do valor recreativo do rio, indicam que o turismo no Araguaia movimenta algo entre 17 bilhões de reais por ano. A beleza cênica da paisagem e atividades ao ar livre – tais como, a pesca e temporadas de praia – são as principais atividades que motivam os turistas para conhecer a região (ANGELO; CARVALHO, 2007).

Apesar da importância social e ecológica, a bacia do rio Araguaia tem sofrido com a expansão das atividades humanas. Dentre elas, a expansão de fronteira agropecuária, tem gerado mudanças no uso do solo de extensas áreas da bacia – nas quais, a vegetação de Cerrado tem sido substituída por lavoura e pasto (COE *et al.*, 2011; LATRUBESSE *et al.*, 2009; SANO *et al.*, 2010). Vale ressaltar que o Cerrado é a savana mais diversa do mundo, com grande riqueza de espécies e endemismos (KLINK; MACHADO, 2005). Infelizmente, o desmatamento desse bioma já modificou 88 milhões de hectares (46% da cobertura original), o que coloca em risco de extinção, atual e futuro, mais de 1.140 espécies (STRASSBURG *et al.*, 2017). Além da perda da biodiversidade, uma vez que é o berço das águas das principais bacias hidrográficas brasileiras, a segurança hídrica do Brasil também é afetada, pois o desmatamento do Cerrado solo já modificou o regime hídrico de muitas regiões – com incremento dos déficits hídricos. Esse fator pode ameaçar a sustentabilidade da agropecuária em médio e em longo prazo (HOFMANN *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.*, 2019, 2022; SPERA *et al.*, 2016).

A segunda onda de impactos antrópicos, que ameaça a sociobiodiversidade do Cerrado e da bacia do rio Araguaia, abrange a construção de barragens para fins hidroelétricos nos rios da região (FERREIRA *et al.*, 2022; LATRUBESSE *et al.*, 2019). Considerando as áreas do Cerrado e do Pantanal, já temos em operação mais de 291 hidroelétricas (FIGURA 1). Planeja-se, ainda, a expansão desse parque elétrico com adição de mais 829 novas barragens – muitas dessas em locais de interesse ecológico como áreas prioritárias para conservação e terras indígenas, Figura 1, (LATRUBESSE *et al.*, 2019).

Vale ressaltar que a maior parte dessas novas barragens (*i.e.* 441) é constituída de Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCHs) que têm pouca capacidade de geração de energia elétrica (< 30 MW/h). Para a bacia do rio Araguaia, estão planejadas 41 novas hidroelétricas, dessas, 35 estão localizados para a parte alta da bacia,

Figura 2, (SIGEL 2023). A maior parte delas é constituída de PCHs formando cascatas de reservatórios, isto é, a instalação de várias hidroelétricas sobrepostas no mesmo rio. A cascata de reservatórios é pior cenário possível para manutenção da integridade dos ecossistemas fluviais, de sua biodiversidade e dos serviços por ela prestados (PELICICE *et al.* 2015; CASTELO; MACEDO, 2016).

No quadro em recorte, Figura 1, mostramos a cascata de reservatórios, ou seja, a sobreposição de diversas hidroelétricas em um mesmo rio. O tamanho dos círculos denota a capacidade de produção em megawatts (MW).

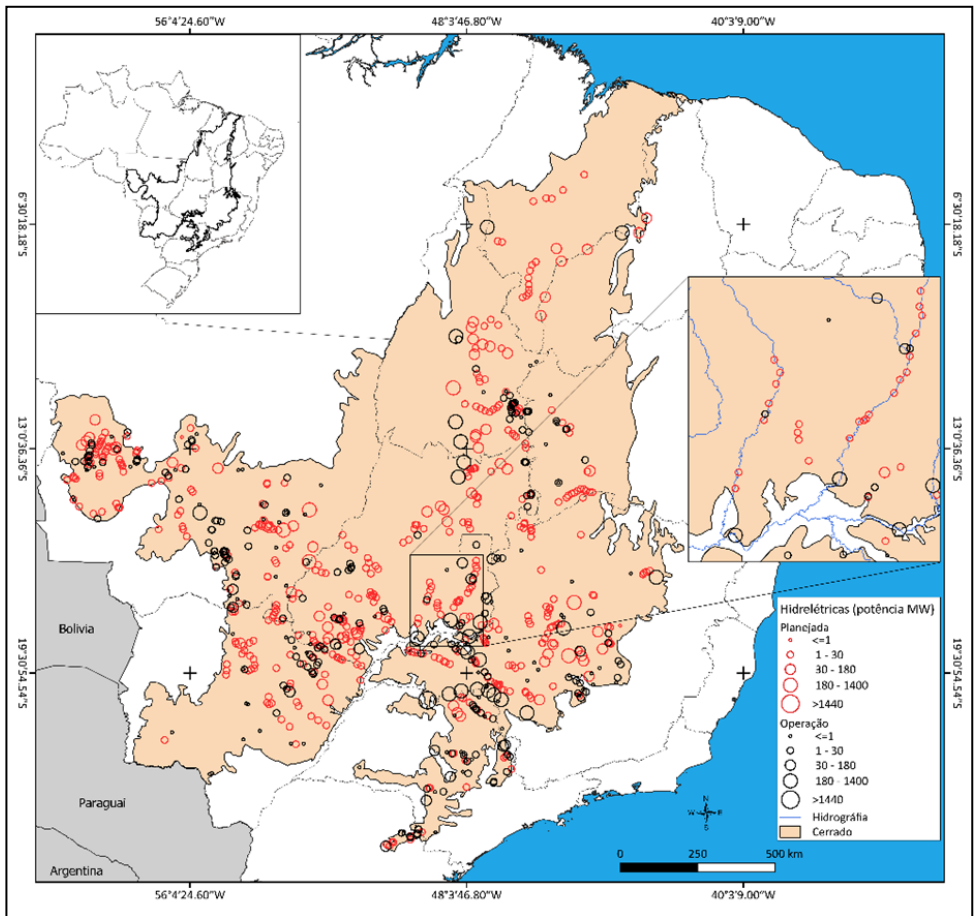


Figura 1. Mapa do bioma com destaque das 291 hidroelétricas em operação (em preto) e as outras 829 hidroelétricas planejadas (em vermelho) para os rios do bioma. Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL 2023).

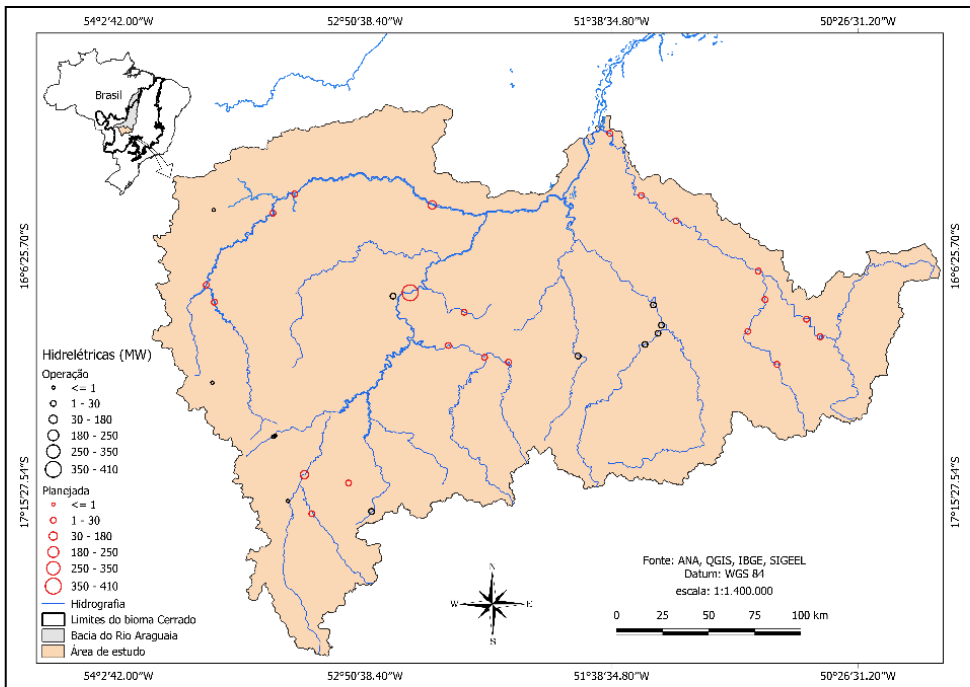


Figura 2. Mapa da área de estudo do projeto com destaque das 12 hidroelétricas em operação (em preto) e as outras 35 hidroelétricas planejadas (em vermelho) para o rio Araguaia e seus principais afluentes. O tamanho dos círculos denota da capacidade de produção em megawatts. Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL 2023).

Além do efeito da barragem sobre a biodiversidade da bacia, somam-se os impactos que atingem as comunidades tradicionais, os povos indígenas e o turismo. Sabe-se que o efeito das barragens é sinérgico e influenciará toda a bacia, o que faz da análise individual dos impactos ecológicos de cada barramento um método ineficaz (MCMANAMAYY *et al.*, 2015). Diante disso, propomos o estabelecimento de um Plano Estratégico Integrado (JAGER *et al.*, 2015; O'HANLEY *et al.* 2020; MCMANAMAYY *et al.*, 2023; SCHIMITT *et al.* 2018; WINEMILLER *et al.*, 2016) que vise entender os diferentes usos da bacia para, assim, criar um plano que minimize os impactos sobre os rios mega diversos, tais como o rio Araguaia.

Sabemos que a produção de energia elétrica e o ganho econômico associado é importante componente para desenvolvimento do país. Todavia, os ambien-

tes ecologicamente equilibrados trazem benefícios às sociedades humanas, tais como, segurança alimentar, diminuição da incidência de epidemias e doenças ligadas à poluição ambiental (KEESING; OSTFELD, 2015; SANDIFER, *et al.* 2015) e esses devem ser também considerados na tomada de decisão.

OBJETIVOS

O estudo teve como principal objetivo caracterizar um Plano Estratégico Integrado para estabelecer o ordenamento da ocupação do Alto rio Araguaia por hidroelétricas, definindo quais rios devem ser utilizados para fins hidroelétricos e quais devem ser mantidos livres de barragens como áreas prioritárias para conservação da fauna aquática. Para tal intento, até o momento, nós respondemos às seguintes perguntas: (i) Quais são os rios mais importantes para desova de peixes na região? (ii) Qual é o potencial efeito do estabelecimento de hidroelétricas sobre áreas indígenas e áreas prioritárias para a conservação? (iii) Há alguma tendência de modificação da vazão dos rios da bacia do Araguaia? (iv) Há contaminação dos rios da bacia por pesticidas? E (v) Caso exista contaminação por pesticidas, há efeitos negativos sobre os peixes?

IMPACTOS

Foram publicados quatro artigos científicos com tópicos associados ao projeto. Pelo menos, outros quatro estão em processo de revisão por pares ou serão submetidos em breve. Em linhas gerais, os estudos publicados até aqui trazem importantes avanços nas áreas de pesquisa ictiológica, conservação e hidrologia. Por exemplo, os estudos decorrentes da tese de doutorado de Cleide Carnicer (bolsista deste projeto) permitiram que avançássemos sobre importantes aspectos no que se refere ao estudo de ovos e larvas de peixes de água doce em escala mundial. A qualidade da informação gerada foi capa da edição de janeiro de 2023 da revista *Journal of Fish Biology*, uma prestigiada revista sobre biologia de peixes. Ademais, o segundo capítulo da tese também foi publicado na mesma revista, trazendo importantes informações regionais sobre a reprodução de peixes na região do alto rio Araguaia. A princípio, trata-se do primeiro estudo

sobre o tema para essa região. A informação sobre os sítios de reprodução dos peixes migradores é essencial para a gestão dos recursos hídricos, especialmente, no que diz respeito à redução do conflito entre o aproveitamento hidroelétrico das bacias e a conservação das assembleias de peixes.

Outro produto em destaque é o artigo desenvolvido pelo Dr. Luciano Benedito de Lima, que propôs novo modelo estatístico para avaliar tendências em séries temporais de vazão de rios. Trata-se de um modelo estatístico robusto e mais simples em relação às alternativas atuais. Dessa forma, esse método está disponível para qualquer pessoa que se interesse por análises de séries temporais de vazão, no Brasil e no mundo. Especialmente aqui vale a pena discutirmos outro resultado relevante. Há uma clara tendência de não estacionaridade da vazão da bacia do rio Araguaia observada com as análises. Em outras palavras, percebe-se uma redução da vazão da maior parte dos rios da bacia nas séries históricas analisada, ou seja, os rios da região estão secando.

Quaisquer intervenções para o uso da água dos rios, como irrigação, hidroelétrica etc., assumem a estacionaridade do fluxo, ou seja, em média, a vazão dos rios é constante no tempo. Esse resultado tem profundas implicações para a gestão do recurso hídrico, principalmente se considerarmos que há consenso entre os estudos de que as mudanças climáticas estão levando à redução da precipitação e ao aumento da temperatura no Brasil Central.

A formação de mestres e doutores em região carente de recursos humanos, com boa formação é essencial para o pleno desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil, pode ser considerado de grande impacto. À medida que cidades médias e cidades do interior do Brasil crescem em importância no contexto nacional, a formação de recursos humanos nesses locais, como na região do vale do Araguaia, permitirá que essas pessoas se fixem nessas regiões, estabelecendo-se, assim, pesquisas de longo prazo, criando-se um ciclo virtuoso para a região e para o país.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

O Projeto proporcionou a formação de recursos humanos, sendo 3 mestres, um doutor, a atuação de 4 doutores em treinamento pós doutoral e, ainda, o

treinamento de um aluno em iniciação científica. Quanto à produção científica e tecnológica, destacamos a publicação de 4 artigos científicos, 1 capítulo de livro e a produção de um vídeo sobre a *História da Piracema*.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

AVELLAR, A. A. S. *Determinação multirresíduo de agrotóxicos em água empregando SPE e UHPLC-MS/MS*. 2020. 100 f. Dissertação Mestrado em Química, Centro de Ciências Naturais e Exata, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23080>

VILELA, S. F. *O rio Araguaia está para peixe? Avaliação da pesca baseada na modelagem ecossistêmica*. 2022. 55 f. Dissertação Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade do Estado de Mato Grosso (UFMT), Nova Xavantina, 2022.

PEREIRA, L. S. *Lacunas de conhecimento sobre quelônios amazônicos afetando a construção de modelos de análise de viabilidade populacional*. 2020. 35 f. Dissertação Mestrado em Biodiversidade Animal, Instituto de Ciências Biológicas, Goiânia, 2020.

DOCTORADO

CARNICER, C. *Lacunas e fatores determinantes da distribuição de ovos e larvas de peixes de água doce*. 2023. 129 f. (Doutorado em Ecologia e Conservação), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, UFMT, Nova Xavantina, 2023.

PÓS-DOCTORADO

PADILHA, D. L. *Busca, preparação, revisão e consolidação de dados espaciais da bacia do Alto rio Araguaia*. Pontal do Araguaia-MT, UFMT. 2020.

MIMURA, K. O. *Análise dos efeitos histológicos da Atrazina e do Clorpirifós nas brânquias e no fígado dos Lambaris (Astyanax sp)*. Pontal do Araguaia-MT, UFMT. 2023.

LIMA, L. B. *Análise de séries temporais de vazão dos rios da bacia do rio Araguaia*. Pontal do Araguaia-MT, UFMT. 2020.

SAVADA, C. S. *Identificação molecular de ictioplâncton da bacia do Alto rio Araguaia*. Londrina, Universidade Estadual de Londrina. 2022.

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PASSOS, K. S. *Levantamento entomológico de vetores de importância médica em alguns municípios atendidos pela regional de saúde de Barra do Garças/MT*. Barra do Garças-MT, UFMT. 2020.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

LIMA, L.B; CRIBARI-NETO, F.; LIMA-JUNIOR, D. P. Dynamic quantile regression for trend analysis of streamflow time series. *River Research and Applications*, v. 38, p. 1051-1060, 2022.

<https://doi.org/10.1002/rra.3983>

CARNICER, C.; LIMA, L. B.; PELICICE, F. M.; LIMA-JUNIOR, D. P. Global trends, biases and gaps in the scientific about freshwater fish eggs and larvae. *Journal of Fish Biology*, v. 102, p. 83-95, 2023.

<https://doi.org/10.1111/jfb.15242>

CARNICER, C.; LIMA L. B.; TAGUTI, T. L.; OLIVEIRA, F. J. M.; LIMA-JUNIOR, D. P. Spatial and seasonal distribution of fish eggs and larvae in one free-flowing river in the Neotropical savanna. *Journal of Fish Biology*.

<https://doi.org/10.1111/jfb.15455>

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A.; AKANA, A.; ET AL. Large-scale degradation of the Tocantins-Araguaia River basin. *Environmental Management*, v. 68, p. 445-452, 2021.

<https://doi.org/10.1007/s00267-021-01513-7>

CAPÍTULO DE LIVRO

PELICE, F. M.; PEREIRA, H. R.; CARVALHO, P; CHAGAS, D. D.; LIMA-JUNIOR, D. P. *Tocantins-Araguaia basin*. In: Rivers of South America, em preparação

OUTROS PRODUTOS (VÍDEO)

ABACATU, J.; LIMA-JUNIOR, D. P. *Uma Pequena História da Piracema*. 2022. 1 vídeo (1,30 mim).

<https://youtu.be/86-K3EJY50Y>

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- I. O rio Araguaia e seus principais afluentes apresentam integridade ambiental que providencia condições favoráveis para a reprodução dos peixes.
- II. Algumas hidroelétricas propostas para a bacia do Araguaia afetam diretamente áreas indígenas e áreas de interesse para conservação da biodiversidade, o que demanda atenção por parte do poder público e dos tomadores de decisão para minorar os potenciais conflitos.
- III. Há uma clara tendência de redução da vazão dos rios da bacia do Araguaia, evidenciando a não estacionaridade do fluxo.
- IV. Os rios da bacia do alto rio Araguaia apresentam algum nível de contaminação por pesticidas.
- V. Mesmo em baixas concentrações, a contaminação por pesticidas, presente na bacia, causa alterações histopatológicas em peixes o que indica efeitos negativos sobre a ictiofauna dos rios.

PERSPECTIVAS

O trabalho executado se caracteriza como o passo inicial de uma grande agenda de pesquisa científica que pretendemos estabelecer para a bacia do rio Araguaia. Dessa forma, mais que as perguntas que respondemos até o momento, são as novas e importantes questões que nos movem, as quais destacamos:

- I. A necessidade de estabelecer uma rede de monitoramento de ovos e de larvas de peixes migradores, para subsidiar estudos mais acurados e, assim, permitir que os tomadores de decisão adotem medidas mais assertivas em relação à conservação dos ecossistemas aquáticos do Araguaia e os serviços ecossistêmicos a eles associados.
- II. Avançar nos estudos sobre ovos e larvas de peixes. Há grande lacuna de conhecimento a ser preenchida a respeito do conhecimento

biológico básico dessas espécies (p.e., descrição do desenvolvimento ontogenético).

- III. Avançar nas técnicas de biologia molecular para identificação das espécies, como DNA *Metabarcoding*, DNA ambiental e análises moleculares que permitam a inferência de aspectos populacionais das espécies.
- IV. Avançar nos estudos sobre os processos migratórios dos peixes do rio Araguaia, para estabelecer, de forma acurada, o tamanho e uso do *habitat*.
- V. Avançar nos estudos ecotoxicológicos considerando outros tipos de pesticidas e outros aspectos biológicos (como comportamento, marcadores moleculares etc.).
- VI. Avançar no monitoramento da qualidade da água na bacia, incluindo o acompanhamento de novos poluentes, como microplásticos, pesticidas e remédios de uso humano e veterinário.
- VII. Analisar o impacto de outros contaminantes, como medicamentos e microplásticos sobre as comunidades aquáticas na região de estudo deste projeto.
- VIII. Desenvolver modelos de priorização espacial que incluam informações ecológicas das espécies, permitindo o entendimento mais acurado de como processos ecológicos (p.e., a reprodução) estão estruturados no espaço.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; MARQUES, E. E.; AGOSTINHO, C. S.; *et al.* Fish ladder of Lajeado Dam: migration on one way routes? **Neotropical Ichthyology**, v. 5, p. 205-213, 2007c.
- AGOSTINHO, C. S.; AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; *et al.* Selectivity of fish ladders: the first bottleneck in fish movement. **Neotropical Ichthyology** v. 5, p. 205-213, 2007d.
- AGOSTINHO, C. S.; PELICICE, F. M.; MARQUES, E. E.; *et al.* All that goes up must come down? Absence of downstream passage a fish ladder in a large Amazonian River. **Hydrobiologia**, v. 675, p. 1-12, 2011.

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; SANTOS, N. C. L.; *et al.* Fish assemblages in Neotropical reservoirs: colonization patterns impacts and management. **Fisheries Research**, v. 173, p. 26-36. 2016.
- ANGELO, P. G.; CARVALHO, A. R. Valor recreativo do rio Araguaia, região de Aruanã, estimado pelo método de custo de viagem. **Acta Sci. Biol. Sci.**, v. 29, p. 421-428, 2007.
- BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management**, v. 30, p. 492–507. 2002.
- CASTELLO; L.; MACEDO, M. N. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. **Global Change Biology**, v. 22; p. 990-1007. 2016.
- COE, M. T.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, M. E.; AMSLER, M. L. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, p. 119-131, 2011,
- FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H. M.; LATRUBESSE, E. M.; *et al.* Dams pose a critical threat to rivers in Brazil's Cerrado hotspot. **Water**, v. 14, p. 3762, 2022.
- FRÉMION, F.; COURTIN-NOMADE, A.; BORDAS, F.; *et al.* Impact of sediments resuspension on metal solubilization and water quality during recurrent reservoir sluicing management. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 201-215, 2016.
- FRIEDL G.; WÜST. A. 2002. Disrupting biogeochemical cycles – consequences of damming. **Aquatic Sciences**, v. 64, p. 55-65, 2002.
- GRILL, G.; LEHNER, B.; LUMSDON, A.; *et al.* An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. **Environmental Research Letters**, v. 10, p. 015001, 2015.
- HOEINGHAUS, D. J.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; *et al.* Effects of the river impoundment on ecosystem services of large tropical river: embodied energy and market value of artisanal fisheries. **Conservation Biology**, v. 23, p. 1222-1231, 2009.
- HOFFMANN, G. S.; CARDOSO, M. F.; ALVES, R. J. V.; *et al.* The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, v. 27, p. 4060-4073, 2021
- JAGER, H. I.; EFROYMSON, R. A.; OPPERMAN, J. J.; KELLY, M. R. Spatial design principles for sustainable hydropower development in river basins. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 808-816, 2015.
- JENSEN, O. P. Pesticide impacts through aquatic food webs. **Science**, v. 366, p. 566–567, 2019
- KEESING, F.; OSTFELD, R. S. Is biodiversity good for your health? **Science**, v. 349, p. 235-236, 2015.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, p. 707-713, 2005

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Z. Geomorph. N.F.**, v. 129, p. 109-127, 2002.

LATRUBESSE, E. M.; AMSLER, M. L.; de Morais, R. P.; Aquino, S. The geomorphologic response of a large pristine aluvial river to tremendous deforestation in South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, p. 239-252, 2009.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; *et al.* Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v. 546, p. 363-369, 2017.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E.; *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, p. e77. 2019.

LINGER, K. B.; LATRUBESSE, E. M. Flooding hydrology and peak discharge attenuation along middle Araguaia River in central Brazil. **Catena**, v 143, p. 90-101, 2016.

LOPES, J.M.; ALVES, C. B. M.; PERESSIN, A.; POMPEU, P. S. Dazed and confused: behavioural constraints impose major challenges to fish passage in the neotropics. **Aquatic Conserv: Mar Fresh Ecosyst**, v. 31, p. 3403-3415, 2021.

MAAVARA, T.; DÜRR, H. H.; VAN CAPPELLEN, P. Worldwide retention of nutrient silicon by river damming: From sparse data set to global estimate. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 28, p-842-855, 2014.

MAAVARA, T.; PARSONS, C. T.; RIDENOUR, C.; *et al.* Global phosphorus retention by river damming. **PNAS**, v. 112, p. 15603-15608, 2015.

MAAVARA, T.; LAUERWALD, R.; REGNIER, P.; VAN CAPPELLEN, P. Global perturbation of organic carbon cycling by river damming. **Nature Communications**, v. 8, p. 15347, 2017.

MCMANAMAY, R. A.; SAMU, N.; KAO, S.; BEVELHIMER, M. S.; HETRICK, S. C. A multi-scale spatial approach to address environmental effects of small hydropower development. **Environmental Management**, v. 55, p. 217-243, 2015.

MCMANAMAY, R. A.; LARSON, K.; TAGESTAD, J.; *et al.* Mutually beneficial outcomes for hydropower expansion and environmental protection at a basin scale. **Science of the Total Environment**, v. 896, p. 165298, 2023.

NEVADO, J. J. B.; MARTÍN-DOIMEADIOS, R. C. R.; BERNADO, F. J. G.; *et al.* Mercury in the Tapajós river basin, Brazilian Amazon: a review. **Environment International**, v. 36, p. 593-608, 2010.

- NILSSON, C.; REIDY, C. A.; DYNESIUS, M.; REVENGA, C. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. **Science**, v. 308, p. 405-408, 2005.
- O'HANLEY, J. R.; POMPEU, P. S.; LOUZADA M.; ZAMBALDI, L. P.; KEMP, P. S. Optimizing hydropower dam location and removal in the São Francisco River basin, Brazil to balance hydropower and river biodiversity tradeoffs. **Landscape and Urban Planning**, v. 195, p. 103725, 2020.
- PELICICE, F. M.; POMPEU, P. S.; AGOSTINHO, A. A. Large reservoirs as ecological barriers downstream movements of Neotropical migratory fish. **Fish and Fisheries**, v. 16, p. 697-715, 2015.
- PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A. Fish passages facilities as ecological traps in large Neotropical rivers. **Conservation Biology**, v. 22, p. 180-188, 2008.
- POFF, N. L.; OLDEN, J. D.; MERRITT, D. M.; PEPIN, D. M. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. **PNAS**, v. 104, p. 5732-5737, 2007.
- POFF, N. L.; ZIMMERMAN, J. K. Ecological impacts of altered flow regimes: a meta-analysis to inform environmental flow management. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 194-205, 2010.
- RODRIGUES, J. A. M.; VIOLA, M. R.; ALVARENGA, L. A.; *et al.* Climate change impacts under representative concentration pathway scenarios on streamflow and droughts of basins in the Brazilian Cerrado biome. **International Journal of Climatology**, v. 40, p. 2511-2526, 2019.
- RODRIGUES, A. A.; MACEDO, M. N.; SILVÉRIO, D. V.; *et al.* Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 28, p. 6807-6822, 2022.
- SANDIFER, P. A.; SUTTON-GRIER, A. E.; WARD, B. P. Exploring among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. **Ecosystem Services**, v. 12, p. 1-15, 2015.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environ. Monit. Assess.**, v. 166, p. 113-124, 2010.
- SANTOS, R. E.; PINTO-COELHO, R. M.; FONSECA, R.; *et al.* The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon basin. **Fisheries Management and Ecology**, v. 25, p. 380-391, 2018.
- SCHIMITT, R. J. P.; BIZZI, S. B.; CASTELLETTI, A.; *et al.* Improved trade-offs of hydropower and sand connectivity by strategic dam planning in the Mekong. **Nature Sustainability**, v.1, p. 96-104, 2018.

SIGEL 2023. Sistema de informações georreferenciadas do Setor Elétrico. Disponível em: <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>. Acesso em 12 jul. 2023.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; *et al.* Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, p. 3405-3413, 2016.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, p. 0099, 2017.

SYVITSKI, J. P. M.; VÖRÖSMARTY, C. J.; KETTNER, A. J.; GREEN, P. Impact of humans on the flux of the terrestrial sediment to the global coastal ocean. **Science**, v. 308, p. 376-380, 2005.

VELDKAMP, T. I. E.; WADA, Y.; AERTS, J. C. J. H.; *et al.* Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. **Nature Communications**, v. 8, p. 15697, 2017.

VÖRÖSMARTY, C. J.; MEYBECK, M.; FEKETE, B.; *et al.* **Global and Planetary Change**, v. 39, p. 169-190, 2003.

VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; *et al.* Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, p. 555-561, 2010.

YAMURO, M.; KOMURO, T.; KAMIYA, H.; *et al.* Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields. **Science**, v. 3666, p. 620-623, 2019.

WINEMILLER, K. O.; MCINTYRE, P. B.; CASTELLO, L.; *et al.* Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, p. 128-129, 2016.

Governança dos recursos hídricos: análises do perfil e do processo de formação dos representantes

Alexandre de Pádua Carrieri

Fernanda Matos

Marcelo Machado de Luca de Oliveira Ribeiro

Patrícia Campos Borja

O projeto teve como tema a governança de recursos hídricos. O objetivo principal foi: analisar e compreender os mecanismos de participação e decisão dos sujeitos sociais nos arranjos de governança e traçar um perfil dos representantes dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e Comitês de Bacia hidrográfica, bem como compreender o processo de formação e atuação dos agentes envolvidos nos arranjos organizacionais de Bacia Hidrográfica no que se refere ao modo pelo qual se dá o relacionamento entre os atores envolvidos e sobre como eles percebem o funcionamento de tal arranjo.

Palavras-chave: governança; participação; políticas públicas.

Neste trabalho, buscou-se contribuir com os estudos sobre a participação, ao apresentar o perfil dos representantes membros de comitês estaduais de bacia hidrográfica no Brasil, e oferecer informações que possam apontar aspectos importantes da capacidade inclusiva dos representantes pesquisados, tendo como premissa que uma “boa” governança é fundamental para alcançar a segurança hídrica.

A concepção de governança pública utilizada a considera como a capacidade de o governo se articular com outros atores no processo de elaboração e implementação de projetos e políticas públicas, a partir da tomada de decisão coletiva. Essa concepção reflete uma preocupação tanto com a eficácia quanto com a democracia da gestão da bacia. Dada a diversidade de atores envolvidos, seja do setor público, do setor privado seja da sociedade civil, com diversos interesses e recursos envolvidos, considera-se importante compreender o modo pelo qual esses arranjos operam, além da forma como os atores percebem as decisões e os respectivos resultados decorrentes delas.

Partiu-se, dessa forma, da perspectiva de que se pode analisar as organizações de bacia como arranjos de governança compostos por diferentes atores que têm as atribuições de mediar, articular, aprovar e acompanhar as ações para o gerenciamento dos recursos hídricos de sua jurisdição. Tais iniciativas se caracterizam pelas propostas de gestão imbuídas de aspectos de descentralização, de participação e de integração. Os arranjos de governança, para a gestão de bacias hidrográficas, visam, dentre outros aspectos, garantir o acesso à água e instituir normas para a proteção da qualidade das águas territoriais, buscando a segurança hídrica.

Para o desenvolvimento do trabalho, partiu-se da perspectiva de que é possível analisar os organismos de bacia como arranjos de governança compostos por diferentes atores que têm as atribuições de mediar, articular, aprovar e acompanhar as ações para o gerenciamento dos recursos hídricos de sua jurisdição. A

importância de pensar os organismos de bacia sob a ótica da governança reside na constatação de que o processo de decisão coletivo é a base estruturante da proposta desse tipo de organização, sendo algo que a caracteriza e a diferencia de outros tipos de instituições participativas.

Assim, retomando a afirmativa de Chhotray e Stoker (2009) sobre as questões clássicas de Governança, buscou-se compreender “quem decide” e “como decide”, aqui entendidos como o processo de reflexão e de negociação, e não às regras normatizadoras. Como apontado pelos autores, a decisão coletiva é aquela tomada por uma coleção de indivíduos, ou seja, da pluralidade de atores ou organizações. Para Bobbio (1986), mesmo as decisões de grupo são feitas por indivíduos (o grupo como tal não decide). Por isso, afirma esse autor, “para que uma decisão tomada por indivíduos (um, poucos, muitos, todos) possa ser aceita como decisão coletiva, é preciso que seja tomada com base em regras que estabeleçam quais são os indivíduos” autorizados a tomar as decisões vinculantes ao grupo, ao arranjo representativo e às ações oriundas desse.

Nesse sentido, para a compreensão da governança desses processos, convém analisar quem são os atores que participam desses arranjos e como participam. Outro ponto relevante é que a atenção dos pesquisadores em Administração para a questão da água pode ampliar o escopo de trabalhos, tanto de acadêmicos quanto de profissionais relacionados a esta área. Diante dos desafios enfrentados, tanto pelos governos como por empresas e sociedade, pensar a água como um recurso estratégico, se é uma necessidade, por um lado, é um desafio para a Administração Pública, diante dos conflitos que emergem com relação aos esforços feitos para um uso sustentável desse recurso.

Possíveis especificidades desse campo, como, por exemplo, a diversidade de atores envolvidos e, em consequência, a diferença de interesses e de usos do recurso, colocam tanto para o meio acadêmico quanto para o profissional, desafios de gestão. Nesse sentido, o olhar para a governança torna-se relevante, como, por exemplo, para definir uma gestão que possa ser minimamente aderente às demandas da sociedade e garantir a sua sustentabilidade.

Por fim, no que tange aos estudos de governança, buscou-se avançar no debate sobre os atores, no âmbito dos arranjos, em especial dos comitês de bacia hidrográfica. A participação dos representantes é um fator crítico e princípio

fundamental para a gestão e a governança das águas, tendo em vista a possibilidade de melhorar a qualidade das decisões, dar legitimidade à gestão e melhorar as relações entre os atores envolvidos.

A utilização da noção de governança da água pode levar à proposição de caminhos teóricos e práticos alternativos que podem contribuir para aproximar as demandas sociais dos atores governamentais e influir no processo de gestão dos recursos hídricos. Gestão é compreendida aqui como o conjunto de ações estabelecidas para disciplinar as relações de uso da água, no contexto socioambiental existente. Corroborando esses apontamentos, cita-se a frase do Secretário Geral da ONU, Ban Ki-moon, em 2011, segundo o qual, “todos os governos precisam reconhecer que a verdadeira crise da água em áreas urbanas é uma crise de governança, causada por medidas ineficazes e má gestão e não a problema de escassez”.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um amplo survey, buscando identificar quem são os atores que participam dos arranjos de governanças da água (comitês estaduais, interestaduais e conselhos estaduais de recursos hídricos), e como os representantes percebem o seu envolvimento no processo decisório. Também foram realizadas entrevistas com representantes, observação participante e não participante, conversas informais, além de anotações do diário de campo. A operacionalização da análise e a apresentação dos dados basearam-se no conjunto das seguintes categorias analíticas (Bardin, 1997) que orientaram o desenvolvimento deste estudo: a composição e representação; o perfil socioeconômico dos representantes; a percepção dos representantes sobre o processo decisório e a percepção dos representantes sobre o arranjo de governança.

No contexto do Estado de São Paulo, a equipe da Universidade de São Paulo, coordenada pelo Prof. Marcelo Machado de Luca de Oliveira Ribeiro, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (ZFEA/USP), comprometeu-se com a execução das atividades e do apoio ao desenvolvimento da pesquisa na área de Governança e participação social na gestão de recursos hídricos, no escopo de seu programa de pós-graduação, do Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na Indústria Animal. Compuseram a equipe, em diferentes momentos do trabalho, o pós-graduando Gustavo Cardoso Lima e os estudantes de graduação, Gabriel Alegria Braz e Beatriz Lódola Moraes Gallego.

Vale destacar que o interesse da instituição em analisar os modos de governança sobre o uso de recursos hídricos, vincula-se à discussão em torno do fato do alto impacto que as atividades ligadas ao agronegócio, em especial, àquelas que se utilizam de irrigação, e todo o conjunto de práticas de produção e de processamento que contribuem fortemente para o consumo de água e para a degradação ambiental crescente no país. Estima-se que esse segmento é responsável por 81% do total do consumo de água no país.

A equipe da Universidade Federal da Bahia, coordenada pela Professora Patrícia Campos Borja, do Departamento de Engenharia Ambiental, da Escola Politécnica, da Universidade Federal da Bahia, participa do Projeto do líder com o projeto Participação Social na Elaboração de Participação Social na Elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico: O Esforço do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Participaram da execução da pesquisa o Mestrando e Eng. Sanitarista e Ambiental Joan Carlos Silva-UFBA) e a Professora Catedrática da Universidade de Barcelona, Cristina Larrea Killinger.

Buscando auxiliar as reflexões sobre a participação, o Projeto da UFBA estabeleceu como objetivo estudar a participação social na elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), em quatro municípios da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco, identificando os atores envolvidos, os mecanismos de participação utilizados e as condições que favoreceram ou dificultaram o exercício da participação. Dessa forma, visando aprofundar a investigação, delineou-se um estudo etnográfico, que foi desenvolvido no município de Miguel Calmon.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo consistiu em analisar e compreender os mecanismos de participação e de decisão dos sujeitos sociais, nos organismos colegiados. Os objetivos específicos foram: traçar o perfil e a atuação dos representantes; analisar o processo de formação e atuação dos atores, enquanto membro de um órgão colegiado em comitês de bacia hidrográfica. Assim, como compreender quem são os agentes, as práticas e a interligação das organizações responsáveis pela gestão dos recursos hídricos no exercício de sua função normativa e deliberativa.

IMPACTOS

Os impactos foram organizados com abordagens de formação de recursos humanos e produção científica e tecnológica. Foram finalizadas 4 defesas de Teses de Doutorado e 3 doutores concluíram o treinamento de *Pós-Doutorado*, além de ofertas de disciplinas. Em relação à produção científica e tecnológica foram 15 artigos científicos concluídos, 10 capítulos de livro, além da preparação, 5 Livros e 32 Ebooks, 16 Artigos completos em anais, uma cartilha e uma Nota Técnica, além de participação em 72 ventos, sendo 26 internacionais e 46 nacionais, e 31 atividades de extensão.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

DOUTORADOS

FERNANDA MATOS - Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Um estudo sobre o perfil dos representantes membros de Comitês de Bacia Hidrográficas.

10.13140/RG.2.2.19244.85120

JOSÉ VITOR PALHARES DOS SANTOS - Agro é Tech, Agro é Pop, Agro é Tudo"? Um estudo sobre os conflitos pela água intensificados pelo agronegócio em Minas Gerais a partir do caso da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco.

<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/37649>

THAÍS ZIMOVSKI GARCIA DE OLIVEIRA - Experiências políticas de mulheres com a água: organizando relações hidrossociais à luz do feminismo decolonial.

<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/56179>

CRISTINA CAMILA TELES SALDANHA - Inovação colaborativa na gestão das águas: considerações a partir do protocolo OGA Brasil.

PÓS-DOCTORADO

OSCAR PALMA LIMA - Governamentalidade neoliberal, comércio virtual da água e inovação: reflexões sobre conceitos e práticas a partir do caso da Embrapa/Brasil.

FERNANDA MATOS - Governanças das águas: reflexões sobre os desafios da representação.

CRISTINA LARREA KILLINGER - Universidade de Barcelona, desenvolveu o estudo etnográfico em Miguel Calmon-Bahia, visando investigar os aspectos da participação social na elaboração de plano de saneamento básico.

OFERTA DE DISCIPLINAS

GRADUAÇÃO: i. Tópicos em Administração: Gênero, Diversidade e Trabalho (seis edições realizadas). Docente: Alexandre Carrieri. ii. Tópicos em Administração: Sustentabilidade e Capitalismo (três edições realizadas). Docente: Alexandre Carrieri e Fernanda Matos. Colaborando com a formação de 199 discentes.

PÓS-GRADUAÇÃO: Temas de Estudos Organizacionais - Michel Foucault, biopolítica e governamentalidade. Docentes: Alexandre Carrieri e Oscar Lima. Formação de 10 discentes.

COORDENAÇÃO DE PROJETO

FERNANDA MATOS. Subcoordenadora geral. Colaboração na articulação e trabalho em rede, na produção dos relatórios técnicos de acompanhamento e prestação de contas; organização de eventos; participar das reuniões de prestação de contas junto aos órgãos financiadores.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

MATOS, FERNANDA; DIAS, REINALDO; AYRIMORAES, SÉRGIO. Governance failures and knowledge asymmetries in the state river basin committees and their impacts on water resource management in Brazil. *Water International*, 47,2, 2022.

<https://doi.org/10.1080/02508060.2022.2041833>

MATOS, F.; ROCHA, F.; CKAGNAZAROFF, I. B.; CARRIERI, A. P. As mulheres das águas: algumas reflexões sobre a participação feminina nos comitês de bacias hidrográficas no Brasil. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 2020.

<http://bit.ly/3pxRbn6>

MATOS, F.; DIAS, R. CARRIERI, A. P. Participação nos comitês de bacias hidrográficas: reflexões sobre representação e representatividade. *Research, Society and Development*. vol. 11, n.8, 2022.

<http://bit.ly/44pbzWI>

SALDANHA, C. C. T.; CKAGNAZAROFF, I. B.; DA CRUZ, M. V. G. (2022). Entre o consenso e o conflito: Um ensaio sobre a inovação colaborativa. *Teoria E Prática Em Administração*, 13(1).

<https://doi.org/10.22478/ufpb.2238-104X.2023v13n1.62418>

MATOS, F. Os atores sociais nos organismos colegiados de gestão das águas no Estado de Minas Gerais. *RELISE - Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, v. 7, n.3, p.187-213, mai-jun, 2022.

<https://encurtador.com.br/hUW89>

MATOS, FERNANDA. C; SALDANHA, C. C. T.; CKAGNAZAROFF, IVAN BECK. A gestão de recursos hídricos e os comitês de bacia hidrográfica em Minas Gerais. *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, 2020.

<https://encurtador.com.br/cpqU5>

MATOS, FERNANDA; CKAGNAZAROFF, I. B. Arranjos de governanças das águas: um estudo sobre os comitês de bacia do Estado de Santa Catarina, *Brazilian Applied Science Review*, 2020.

<https://encurtador.com.br/cLNRS>

MATOS, FERNANDA. Percepções dos representantes de comitês de bacia do estado de Alagoas sobre o processo decisório e efetividade dos organismos de bacia para a gestão das águas. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social*, 2020.

<https://encurtador.com.br/nvwzl>

MATOS, FERNANDA; CARRIERI, A. P. CKAGNAZAROFF, I. B. O processo de formação e constituição do representante membro de em Comitês de bacia hidrográfica: um olhar sobre a experiência participativa. *Brazilian Journal of Development*, 2020.

<https://acesse.dev/1f8eB>

MATOS, F.; SIMIONE, A. A; CKAGNAZAROFF, I. B.; CARRIERI, A. P. Governança da Água: composição; perfil socioeconômico e percepção sobre o processo decisório nos Organismos de Bacias Hidrográficas no Estado De Sergipe, Brasil. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, 2020.

<https://acesse.dev/XXdvv>

MATOS, FERNANDA. A gestão das águas em Alagoas: um olhar sobre os membros de comitês de bacia hidrográficas. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 2020.
<https://ur1.app/HQ95o>

MATOS, FERNANDA; SIMIONE, A. A.; CKAGNAZAROFF, I.B. Governança dos Recursos Hídricos e os Comitês de Bacia no Estado Brasileiro de Goiás. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, v. 4, p. 138-171, 2019.
<https://ur1.app/sALXk>

MATOS, FERNANDA; CKAGNAZAROFF, I. B. Os usos da água e o papel dos comitês de bacia: um estudo de caso. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 2020.
<https://acesse.dev/qlaoH>

MATOS, FERNANDA; DIAS, R. El papel de los datos desglosados por género en búsqueda de equidad en la gestión pública del agua y el saneamiento. *Revista FT (Revista Científica de Alto Impacto)*. Volume 27, Edição 120, p. 88. 2023.
<https://acesse.dev/jrhur>

DIAS, R.; MATOS, F. Desigualdade de gênero nas organizações: desafios a serem superados e oportunidades a serem aproveitadas. *Revista Contemporânea*. v. 3 n. 07, 2023.
<https://l1nq.com/J4d2m>

MATOS, FERNANDA; SIMIONE, A. A.; CKAGNAZAROFF, I. B. Análise do perfil da produção científica sobre gestão de recursos hídricos junto a biblioteca eletrônica Spell no período 1971-2015”, *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 2018.
<https://l1nq.com/OAZxE>

CAPÍTULOS DE LIVROS

MATOS, FERNANDA; HERNANDEZ-BERNAL, N; CKAGNAZAROFF, I.B; CARRIERI, A.P. Water resources governance: analysis of the profile and the shaping of the representative members of the Watershed Organisms in Brazil. *Global Water Security Issues (GWSI) Paper Series*. UNESCO i-WSSM and UNESCO Headquarters.
<https://bit.ly/2vcIFxt>

MATOS, F; REINALDO DIAS. Water governance as an instrument of democratization: reflection on the shared management of water resources in Brazil. In: *Development and its applications in scientific knowledge*. Seven Editora: 2023.
<http://bit.ly/3qS1d2B>

MATOS, FERNANDA; DIAS, REINALDO. Desafios e oportunidades na Gestão Ambiental: o papel dos municípios e parcerias na preservação dos recursos hídricos. In: Pacheco, Clecia Simone Gonçalves Rosa; Santos, Reinaldo Pacheco. *Ciências e Tecnologia das Águas: Inovações e Avanços em Pesquisa*. Editora Científica Digital, 2023.
<http://bit.ly/42O255x>

MATOS, FERNANDA; DIAS, REINALDO. Estratégia de gestão colaborativa dos recursos hídricos: a contribuição dos consórcios intermunicipais para a governança das águas. In: Gomes, Myller Augusto Santos (Org). Administração pública e privada: novas tendências e perspectivas 4. Editora Aya, 2023.

<http://bit.ly/3NkIFk4>

MATOS, F; REINALDO DIAS. Importância dos dados desagregados por gênero em políticas públicas de recursos hídricos. IN: MATOS, Fernanda; Carrieri, Alexandre Pádua [ORG.] Água e Gênero: Perspectivas e Experiências, volume II, 2022.

<http://bit.ly/44aZmEa>

OLIVEIRA, T. Z. G.; MATOS, F; CARRIERI, A. Água e subjetividade: a (des)construção de gênero nas relações hidrossociais. IN: MATOS, Fernanda; Carrieri, Alexandre Pádua [ORG.] Água e Gênero: Perspectivas e Experiências, volume II, 2022.

<http://bit.ly/44aZmEa>

MATOS, F. Governança e gênero na gestão dos recursos hídricos. IN: MATOS, Fernanda; Carrieri, Alexandre Pádua [ORG.] Água e Gênero: Perspectivas e Experiências, volume 1. Editora Barlavento, 2022.

<http://bit.ly/3CE3WPG>

MATOS, FERNANDA; DIAS, REINALDO. Diversidade nas organizações: um ensaio sobre inclusão, desafios e oportunidades. In: Edison Souza (ed.). Pesquisas em temas de Ciências Sociais Aplicadas, v.6, RFB editora, 2023, p.80-117.

<http://bit.ly/3PpOM8j>

MATOS, F. CAMINHANTE. IN: Matos, F; Modaelli, S. [ORG.] Mulheres pelas Águas. REBOB - Rede Brasil de Organismos de Bacia. 2021.

<https://bityli.com/rPOZlp>

LIMA, O. Indicadores participativos de Bacias Hídricas: uma abordagem integrada dos usos de água. IN: Calheiros, D.; Roche, K.; Risso A.; Lima, O. (orgs.) Índice de Qualidade da Bacia Hidrográfica: bases ecológicas para a gestão integrada dos recursos naturais da bacia do Rio Miranda (MS) – Editora Rima. (no prelo)

LIVROS

MATOS, FERNANDA; CARRIERI, ALEXANDRE PÁDUA [ORGS.] Água e Gênero: Perspectivas e Experiências, volume 1. Editora Barlavento, 2022. ISBN: 978-65-87563-32-9.

<http://bit.ly/3CE3WPG>

MATOS, FERNANDA; CARRIERI, ALEXANDRE PÁDUA [ORGS.] Água e Gênero: Perspectivas e Experiências, volume 2. Editora Barlavento, 2022. ISBN: 978-65-87563-33-6.

<http://bit.ly/44aZmEa>

MATOS, F.; MODAELLI, S. [ORGS.] Mulheres pelas Águas. REBOB - Rede Brasil de Organismos de Bacia, 2021.
<https://bityli.com/rPOZlp>

MATOS, F.; MODAELLI, S.; [ORGS.] Mulheres pelas Águas - Volume II. REBOB - Rede Brasil de Organismos de Bacia, 2022.
<http://bit.ly/3CBkQ1B>

CALHEIROS, D.; ROCHE, K.; RISSO A.; LIMA, OSCAR. [ORGS.] Índice de Qualidade da Bacia Hidrográfica: bases ecológicas para a gestão integrada dos recursos naturais da bacia do Rio Miranda (MS) - Editora Rima.

EBOOKS

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia do Rio Grande. Série II. 9. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3JPQJr0>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia do Rio Verde Grande. Série II. 8. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3NNucMC>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Série II. 7. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3O4JttY>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Série II. 6. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3NFk6xo>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia do Rio Paranapanema. Série II. 5. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3revYyK>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu. Série II. 4. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3D3FxDw>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê da Bacia do Rio Paranaíba. Série II. 3. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/46FAg2w>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê de Bacia do Rio Doce. Série II. 2. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3PRVX9K>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros do Comitê de Bacia do Rio São Francisco. Série II. 1. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3rlkQAf>

MATOS, FERNANDA; DIAS, R.; CARRIERI, A. P. Perfil dos representantes nos conselhos estaduais de recursos hídricos e a voz das mulheres nesses espaços. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2022.
<http://bit.ly/43heZta>

MATOS, FERNANDA; DIAS, R.; CARRIERI, A. P. The profile of state water resources council's representatives and women's voice in these spaces. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2022.
<http://bit.ly/44iB9MG>

MATOS, FERNANDA; DIAS, R.; CARRIERI, A. P. El perfil de los representantes en los consejos estatales de recursos hídricos y la voz de las mujeres en estos espacios. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2022.
<http://bit.ly/3NNYaQQ>

MATOS, FERNANDA; CAMARGO, E.; CARRIERI, A. P. Gobernanza de las aguas y Género: Un estudio sobre el perfil de los miembros de comités interestatales de cuencas hidrográficas en Brasil. Série Especial. Vol. III. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3D2XiCZ>

MATOS, FERNANDA.; CAMARGO, E.; CARRIERI, A. P. Water Governance and Gender: a study on the profile of members of river basin interstate committees in Brazil. Série Especial. Vol. II. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3O7PKoP>

MATOS, FERNANDA; CAMARGO, E.; CARRIERI, A. P. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Gênero e o Perfil dos Membros de Comitês de Interestaduais de Bacias Hidrográficas. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/3NHVZOF>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; GUERRA S. C. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021.
<http://bit.ly/44xLQLP>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021. ISBN: 978-65-88208-15-1.
<http://bit.ly/3O8aU6g>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-03-8.
<http://bit.ly/3O5dgCS>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; LIMA, ANGELO J. R.; BONTEMPO JR, H. Retratos de Governanças das Águas Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina. Belo Horizonte: FACE /UFMG, 2019. ISBN: 978-85-60500-14-7.
<http://bit.ly/46FMtnS>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; LIMA, ANGELO J. R.; BONTEMPO JR, H. Retratos de Governanças das Águas Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Espírito Santo. Belo Horizonte: FACE /UFMG, 2019. ISBN: 978-85-60500-13-0.
<http://bit.ly/3XHJgQB>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; LIMA, ANGELO J. R.; BONTEMPO JR. H. Retratos de Governanças das Águas Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2019. ISBN: 978-85-60500-12-3.
<http://bit.ly/44v2hrS>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; LIMA, ANGELO J. R.; BONTEMPO JR. H. Retratos de Governanças das Águas Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Goiás. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2019. ISBN: 978-85-60500-11-6.
<http://bit.ly/3D4SGfB>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; LIMA, ANGELO J. R.; GUERRA S. C. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-04-5.
<http://bit.ly/3JSNUWi>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; LIMA, ANGELO J. R.; GUERRA S. C. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Alagoas. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-01-4.
<http://bit.ly/3D7nAUp>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-11-3.

<http://bit.ly/3PSOHKy>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado da Bahia. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-10-6.

<http://bit.ly/3O7NWMn>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Distrito Federal. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-09-0.

<http://bit.ly/44jl8Gn>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. Lima. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-08-3.

<http://bit.ly/3O7feCw>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos representantes membros de comitês de bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Norte. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-07-6.

<http://bit.ly/3PRi7ZI>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. LIMA, ANGELO J. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Mato Grosso. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-06-9.

<http://bit.ly/43hkZIG>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. LIMA, ANGELO J. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Rio de Janeiro. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-05-2.

<http://bit.ly/3XHIGCp>

MATOS, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B.; SOUZA, R. R. LIMA, ANGELO J. R. Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Perfil dos Representantes Membros de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2020. ISBN: 978-65-88208-02-1.

<http://bit.ly/44IGDGO>

ARTIGOS COMPLETOS EM ANAIS

OLIVEIRA, THAÍS ZIMOVSKI GARCIA, SILVA, RAFAEL GONCALVES, CORREIA, GABRIEL FARIAS ALVES, CARRIERI, ALEXANDRE DE PÁDUA; MATOS, FERNANDA. Water and Gender: A decolonial look at the hydrosocial transformations in Vila Ideal. 38th EGOS Colloquium. Organizing: The Beauty of Imperfection.: Sub-theme 21: "Decolonizing Perspectives and Decolonial Pluriversality in Management Praxis & Research. EGOS – European Group for Organizational Studies, Vienna, 2022.
<https://11nq.com/X5ZE0>

OLIVEIRA, T. Z. G. Decolonizando o comitê de bacia hidrográfica Rio das Velhas: uma abordagem feminista da gestão da água. XLVII Encontro da ANPAD - EnANPAD 2023, São Paulo, 2023.

SANTOS, JOSÉ VITOR PALHARES; OLETO, ALICE DE FREITAS. "O rio significa a minha vida. Sem ele eu não sou ninguém": conflito pela água intensificado pelo agronegócio envolvendo comunidades tradicionais na Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. XLVII Encontro da ANPAD - EnANPAD 2023, SP.

MATOS, FERNANDA; DIAS, R. A construção da agenda da água no Brasil: alguns apontamentos. In: XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), 2023, Aracajú.
<https://ur1.app/EPotC>

MATOS, FERNANDA; DIAS, R. Dados desagregados por gênero na busca da equidade na gestão pública da água e do saneamento. In: XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), 2023, Aracajú.
<https://ur1.app/v79TB>

SALDANHA, C. C. T.; MATOS, F. C; CARRIERI, A. P. Aprendizagem em Redes de Governança: impressões preliminares da oficina de capacitação do OGA Brasil. IX Encontro de Administração Pública da Anpad – EnAPG 2022.
<http://bit.ly/3PO3Tso>

MATOS, FERNANDA. Quem participa: os atores no processo de governança das águas no âmbito dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Brasil. XLV Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração - EnANPAD 2021, 2021.
<http://bit.ly/44CFvy1>

MATOS, FERNANDA; SALDANHA, CRISTINA C. T. Composição de arranjos participativos: a experiência do comitê da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. SBRH, 2021.
<http://bit.ly/43i6C0u>

MATOS, FERNANDA; CAMARGO, ELDIS; CARRIERI, A. P. Governança, Gestão das águas e Gênero: um breve ensaio sobre a construção de intersecções teóricas. SBRH, 2021.
<http://bit.ly/43nSi6q>

SILVA, R. G.; OLIVEIRA, T. Z. G.; CORREIA, G. F. A.; CARRIERI, A. P. Transformações Hidrossociais da Vila Ideal à Luz da Perspectiva de Gênero. In: XXIV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte. SBRH, 2021.

<https://l1nq.com/BJagD>

MATOS, F.; SILVA, F. R.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, IVAN BECK. Arranjos políticos, a coisa pública e a água: um estudo sobre os organismos de gestão das águas no Espírito Santo. In: VIII Encontro de Administração Pública da ANPAD - EnAPG, 2019, Fortaleza.

<https://ur1.app/mzwt3>

MATOS, F.; SILVA, F. R.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, IVAN BECK. A importância da participação na governabilidade das águas: um estudo de caso. In: VIII Encontro de Administração Pública da ANPAD - EnAPG, 2019, Fortaleza:

<http://bit.ly/3O88a8X>

MATOS, F. C.; CARRIERI, A. P.; OLIVEIRA, T. Z. G. A formação de Representantes em Comitês de Bacias: O Poder Simbólico na Gestão de Recursos Hídricos. In: VI Congresso Brasileiro de Estudos Organizacionais (CBEO), 2019, Recife.

<http://bit.ly/3D7QzaP>

MATOS, F. C.; SALDANHA, C. C. T.; CKAGNAZAROFF, IVAN BECK; OLIVEIRA, T. Z. G. O Processo Decisório em Arranjos de Governança: um estudo da experiência dos Comitês de Bacias Hidrográficas em Santa Catarina. In: VI Congresso Brasileiro de Estudos Organizacionais (CBEO), 2019, Recife.

<https://ur1.app/Caz70>

MATOS, F.; ROCHA, F.; CARRIERI, A. P.; CKAGNAZAROFF, I. B. A importância da participação na governabilidade das águas: um estudo de caso. EnAPG da ANPAD, 2019.

<https://acesse.dev/KD78q>

BORJA, PATRÍCIA CAMPOS; SILVA, JOAN CARLOS SANTOS. Participação social na elaboração de planos municipais de saneamento básico: o esforço do comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 32, 2023, Belo Horizonte, MG, Saneamento ambiental: desafios para a universalização e a sustentabilidade [...] Belo Horizonte: ABES, 2023. p. 1 – 15.

<https://l1nq.com/SiGZ3>

CARTILHA

SANTOS, JOSÉ VITOR PALHARES. Cartilha sobre conflito pela água entre produtores rurais e moradores de comunidades tradicionais da região de Matias Cardoso. Belo Horizonte, 2021. 8 p.

<https://encurtador.com.br/cmwJM>

NOTA TÉCNICA

PÓLOS DE CIDADANIA. Nota Técnica: 'Dano-morte, necroeconomia e dano existencial no rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho, MG' – Plataforma Áporo, Programa Pólos de Cidadania, Faculdade de Direito da Universidade Federal de Minas Gerais. André Luiz Freitas Dias e Maria Fernanda Salcedo Repolês (Org). 2021.

<https://polos.direito.ufmg.br/wp-content/uploads/2021/07/Nota-Tecnica-Brumadinho.pdf>

OUTRAS PUBLICAÇÕES

Artigos publicados (10) em outros canais, tais como a Revista Águas do Brasil e a seção Rebob Mulher.

EVENTOS

Participação dos discentes como palestrantes, debatedores ou realizando a mediação em eventos internacionais e nacionais. Dentre eles destaca-se os eventos organizados pela ANA; CPEG; FNCBH, ABES RS, Semad MG.

ATIVIDADES DE EXTENSÃO

Organização de eventos, nos formatos presencial e on-line, tais como webinários, rodas de diálogo, aula aberta, cineclube.

OUTRAS ATIVIDADES

Dentre as 27 outras atividades tem-se entrevistas, apoio técnico a formação de grupos, participação em grupos de trabalho nacionais e internacionais, com destaque para a atuação junto à UN-Water, como especialista convidada, apoiando a contextualização de gênero nos indicadores do ODS.

A proposta de desenvolvimento do trabalho partiu da perspectiva de que podemos analisar as organizações de bacia como arranjos de governança compostos por diferentes atores que têm atribuições de mediar, articular, aprovar e acompanhar as ações para o gerenciamento dos recursos hídricos de sua jurisdição. Essas

instâncias diferem de outras formas de participação previstas nas demais políticas públicas, pois sua atribuição legal é deliberar sobre a gestão da água fazendo isso de forma compartilhada com representantes da sociedade civil e dos usuários e do poder público. A existência de uma diversidade de atores no processo de formulação de políticas públicas, com diferentes capacidades, com interesses e incentivos distintos, interagindo em várias arenas, exige, para sua análise, uma abordagem sistêmica e o entendimento de algumas questões como: quem são os atores que participam dos processos de formulação das políticas das águas?

Para responder a esse questionamento, fez-se um levantamento do quantitativo de organismos colegiados e dos números de membros que os compunham. Identificou-se que, no Brasil, existiam 233 Comitês de Bacia, sendo dez interestaduais em funcionamento, e 223 comitês estaduais criados, porém, entre o ato de criação e o de instalação pode ocorrer um intervalo até o seu funcionamento. Por exemplo, o estado de Goiás é composto por onze unidades de gestão de recursos hídricos, sendo que: a) cinco comitês de bacia hidrográfica foram criados e instalados, entretanto, b) três foram criados e estão em fase de instalação; e c) três foram criados, mas não instituídos por Decreto (Afluentes Goianos do Médio Araguaia; do Médio Tocantins etc.). Para a primeira fase, na composição do universo de pesquisa, foram considerados 12.004 representantes, incluindo titulares e suplentes, em 203 comitês de bacia hidrográfica criados e implementados. Com os dados obtidos foram produzidos 17 ebooks com análises realizadas por estado.

Partindo dos dados preliminares, selecionaram-se alguns temas para serem analisados em mais profundidade, dentre eles:

- i. as relações entre os temas água e gênero. Percebeu-se um duplo e concomitante desafio, isto é, que mais mulheres ocupem espaços colegiados de gestão das águas, tendo em vista que não existe paridade entre homens e mulheres nesses organismos (média de 30,2% comitês estaduais, interestaduais e conselho) e a busca por relações mais harmônicas nos espaços de poder, o que se refere à qualidade dos debates, como apontado por Fraser (2002), tendo em vista a observância de ocorrência de violência política de gênero (atos de constrangimento que dificultam ou inviabilizam a participação das mulheres nos es-

paços colegiados de políticas públicas). Dentre os mais comuns estão ignorar a fala da mulher, realizar interrupções frequentes, desqualificar a fala, mudança no tom de voz, apropriação das ideias sugeridas, homem explicar o óbvio para uma mulher, entre outros. Fernanda Matos conduziu estudos sobre desigualdades de gênero, violência política e a importância dos dados desagregados. A discente Thaís Zimovski Garcia de Oliveira propôs uma problematização sobre gênero a partir do olhar decolonial, o qual denuncia a tríade da dominação dos países do “terceiro mundo”: do meio ambiente, das mulheres e das pessoas racializadas, na produção da subjetividade humana e na construção do conhecimento. Assim, ela conduziu estudos sobre o feminismo decolonial no combate ao racismo ambiental, à necropolítica, e a experiência política das mulheres na luta pela transformação dos espaços hidrossociais, ao analisar as histórias de vida das mulheres participantes do comitê, observando como a água aparece em suas narrativas sobre o cotidiano e participação no comitê de bacia. Sob a perspectiva de governança, entende-se que a participação ativa dos representantes pode potencializar a gestão e a conservação dos recursos na bacia hidrográfica de que participam. As ausências ou as invisibilidades, nos processos de composição desses espaços, podem colocar pessoas à margem do bem comum. Dito de outra forma, os interesses e as demandas daqueles que não participam dos comitês não são representados no planejamento e na gestão das águas, podendo, inclusive, contribuir para asseverar a escassez do acesso ao uso da água por aqueles que vivem em situação de miserabilidade e pobreza.

- II. os conflitos socioambientais pela água. José Vítor Palhares, amparado pelo referencial teórico-metodológico da Ecologia Política, buscou analisar os conflitos produzidos e intensificados pelo agronegócio em Minas Gerais, problematizando-os à luz de programas e de políticas públicas de desenvolvimento destinadas à expansão do setor no estado e a partir do caso na Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco apresenta um panorama dos conflitos socioambientais pela água produzidos e intensificados pelo agronegócio, em Minas Gerais, nos

últimos vinte anos. Identifica, ainda, que o modelo brasileiro de desenvolvimento agrodependente e neoextrativista vigente (re)produz dinâmicas neocoloniais, como a colonialidade da natureza, em que a água é instrumentalizada e gerida como um mero fator de produção por grandes produtores rurais, com o apoio financeiro e político do Estado, sob o pretexto de ser o agronegócio – principal usuário de água em nível regional, nacional e global – um dos grandes setores responsáveis por induzir o progresso e o crescimento econômico do país, ocasionando, entre outras coisas, a intensificação dos conflitos hídricos em Minas Gerais e o impedimento ao direito à água de qualidade a populações mais vulneráveis.

- III. busca de entendimento sobre o distanciamento predominante entre ciência e sociedade, por meio do silenciamento da problemática ambiental na formação dos técnicos em irrigação. Oscar Lima conduziu suas pesquisas sobre governamentalidade neoliberal, comércio virtual da água e inovação: reflexões sobre conceitos e práticas, a partir do caso da Embrapa/Brasil. Dentre os achados, revelam-se: 1) Excessiva visão tecnicista sobre o uso do solo, apesar do discurso ‘sistêmico’ e ‘ambiental’ do uso da água. Silenciamento dos saberes tradicionais no manejo dos recursos hídricos que não se encaixam na lógica neoliberal de gestão hídrica; 2) O direcionamento das falas ao pequeno produtor (nem sempre ligado à agricultura familiar), o que indica que esse saber não é aplicado por grandes produtores. 3) Muitas dificuldades da pequena propriedade. Não só outorga ou licenciamento, mas também o alto custo financeiro para implementar sistemas de irrigação eficientes e ecologicamente responsáveis. Dificuldade de comprar sensores, de produzir em ambientes controlados, como estufas etc. O conjunto de dificuldades mostra a crescente inviabilidade da produção de pequena escala e a concentração de terras. 5) Pouco engajamento político dos atores. O discurso técnico silencia as possibilidades dos participantes da produção da pequena e média lavoura no país a se organizarem politicamente. 6) Água e solo tratados como insumo, dentro da lógica custo-benefício. Subentende-se que

no imaginário de grande parte dos produtores, esse recurso permanecerá abundante no longo prazo. Fortes indícios de uma mentalidade imediatista, reforçada pela falta de conhecimento e de experiência em plantio e irrigação. Algo do tipo, ‘plantar para ver o que dá’ (R03). 7) Ambiente econômico de fortes desestímulos à profissionalização dos pequenos irrigantes. O próprio curso foi pago e restrito a quem tem acesso à internet. Somente esse grupo teria acesso às modernas técnicas de irrigação ‘uma arte com habilidades e experiência’, que é ainda pouco praticada e não faz parte da cultura do pequeno e médio plantio 8) Saberes técnicos restritos. Há grande dificuldade do pequeno-médio produtor de regiões fora do Sudeste de encontrar assessoria técnica para a irrigação. Há falta de sistemas de classificação de terras para irrigação, diagnóstico do solo, poucas informações disponíveis pelos órgãos públicos para serem usados de equações empíricas (como as recomendadas pela FAO), etc. 9) Dito isso, a organização técnico-científica do solo, permanece ainda no âmbito da utopia quando comparada às práticas depredatórias de plantio.

- iv. inovação colaborativa a partir do Protocolo Observatório da Governança das Águas. Cristina Saldanha, busca analisar em que extensão os representantes dos organismos de bacia consideram que as iniciativas decorrentes do Protocolo contribuem para a inovação colaborativa na Gestão de Recursos Hídricos. O argumento para o desenvolvimento de sua tese se respalda no pressuposto que as percepções acerca das iniciativas decorrentes do Protocolo, pelos atores que participaram do seu preenchimento, possam contribuir para a utilização do Protocolo como uma ferramenta, um meio, para a inovação na Gestão de Recursos Hídricos de forma colaborativa. As percepções sobre a viabilidade para inovações colaborativas por meio do Protocolo fornecem elucidaciones sobre os motivos da inovação ou da não-inovação na GRH. Por isso, analisar os fatores que contribuem (facilitadores) e que inviabilizam (barreiras) às inovações pela perspectiva dos próprios atores interessados oferece uma leitura pertinente da realidade empírica em estudo, pois permite identificar os pontos de conflitos

e as possibilidades de convergência entre os atores, a formação dos representantes de bacias por meio do aprendizado de conhecimentos técnicos e de valores inerentes à colaboração e à inovação, bem como o papel de lideranças no fortalecimento desse processo. Além disso, uma repercussão positiva proporciona maior valor público ao instrumento (Protocolo), um dos principais objetivos para inovações públicas e da colaboração, de forma a legitimá-lo perante os seus pares. Pesquisa ainda em desenvolvimento.

- v. falhas de governança; processos de formação e constituição dos membros, problematização das relações de representação e representatividade; dentre outras temáticas.

Para a segunda fase, os dados de pesquisa referente aos Comitês Interestaduais foram coletados a partir de uma colaboração institucional entre a Coordenação do Projeto (NEOS/CEPEAD/FACE/UFMG) e a Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico - SPR/ANA, em dezembro de 2019, para ampliação dos estudos referente ao processo de formação e o perfil dos membros do SINGREH. Conforme levantamento realizado, há 944 espaços para participação em comitês interestaduais. Foram produzidos 09 e-books com dados por comitê (o Comitê do Rio Parnaíba foi criado em 2018, e no período da realização da pesquisa estava em fase de processo eleitoral iniciado para o primeiro mandato de seus membros, por esta razão, não foi incorporado no estudo). Nos 26 conselhos estaduais, há 1.522. Com base nesses dados, foram também produzidos e-book (série especial) sobre água e gênero, totalizando 32 publicações. Em virtude da cooperação estabelecida com a ANA, foram fornecidos subsídios para a elaboração dos relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil (12^a à 15^a edição), publicados pela organização.

Destaca-se que, durante o desenvolvimento do projeto, diferentes atividades foram realizadas, especialmente pela equipe líder, vinculada à UFMG, que, somadas, até o mês de julho/2023, totalizaram pouco mais de 240 itens. Cabe ainda mencionar as redes e as parcerias estabelecidas no período de desenvolvimento do projeto, contribuições de especialistas, de profissionais, de professores

e de pesquisadores, de diferentes áreas do conhecimento, de várias regiões do país e do exterior, somando com reflexões, perspectivas e experiências, sobre as temáticas trabalhadas pelos discentes. De igual relevância, foi a inserção dos discentes do Núcleo de Estudos Organizacionais e Sociedades (NEOS/UFMG), vinculados ao projeto, em grupos de pesquisa e de trabalho, tanto no âmbito nacional, quanto internacional. Como previsto no projeto inicial, outras linhas de desenvolvimento foram realizadas pelos outros coordenadores vinculados.

No âmbito da FZEA/USP, buscou identificar as mudanças nas políticas de gestão dos recursos hídricos, no programa de microbacias, por meio do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi, e os impactos sobre seu público-alvo na região. Para o gerenciamento da questão de utilização racional dos recursos hídricos, gestão sustentável dos recursos Hídricos do Estado de São Paulo, de acordo com a Lei de Águas Paulista, a Lei 7.663/1991, foi criado o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH) baseado nos princípios de participação, descentralização e integração. A Bacia Hidrográfica é a referência de planejamento e gerenciamento, o que fortalece as identidades regionais no estado de São Paulo.

Três órgãos fazem a coordenação e a integração do SIGRH: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH); os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI). Por intermédio do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu, desde o ano de 2017, está sendo implantado um sistema de cobrança pela captação e pelo lançamento de águas residuárias para produtores dos setores primário e secundário nas regiões rurais dos municípios da região. Essa cobrança foi adiada por força das reorganizações do sistema de gestão implantadas pelo governo do Estado de São Paulo. Na articulação das atividades do projeto, foram utilizados recursos para viabilizar a participação de membros da equipe, na coleta de informações e organização de material produzido pelas equipes do Comitê.

O caso da Bacia do Rio Mogi, no Estado de São Paulo, refere-se à região denominada UGRHI 09, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG), localizada na região sudeste do Brasil, na Região Hidrográfica do Paraná, que, em conjunto com as Regiões Hidrográficas Paraguai e Uruguai, compõem a Bacia do Prata. Para o gerenciamento dos recursos hídricos existentes, foi insta-

lado em 1996, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu (CBH-MOGI), que corresponde à unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 09 e, é integrado por 43 municípios, sendo 38 com sede urbana na área de drenagem (15.000m²). A população local é de 1.466.062 habitantes (Seade 2011). Seus principais rios são: o Rio Mogi Guaçu, o Rio do Peixe e o Rio Jaguari-Mirim, com destaque para a agroindústria, óleos vegetais e bebidas, frigoríficos e indústria de papel e celulose. No turismo, predominam seis estâncias hidrominerais. A região apresenta 10,5% de cobertura vegetal.

Durante o período de abrangência deste projeto, no ano de 2019, ocorreram mudanças no sistema de governança do governo do Estado, que passou à coordenação dos Comitês, antes geridos pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) para o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). A troca de gestão impediu que se iniciassem as cobranças pelo uso de recursos hídricos, uma vez que o DAEE não tem estrutura para efetuar as cobranças que estavam previstas para iniciar naquele ano, em todo o território do Comitê.

As contribuições financeiras, para o funcionamento da CBH-Mogi, permanecem tendo como únicas fontes de recursos o FEHIDRO, Fundo Estadual de Recursos Hídricos e os aportes das Prefeituras da região. A utilização desses recursos é realizada por meio de análise de projetos apresentados pelas prefeituras ou instituições que compõem o escopo de ação do Comitê e que são enquadrados em 03 eixos de prioridade, alta, média e baixa, conforme estabelecido em função dos impactos de proteção à bacia hidrográfica que possam atingir.

O Comitê reúne expertise nas diferentes áreas de interesse para preservação e uso adequado dos recursos hídricos em suas diferentes possibilidades e consegue priorizar com muita precisão os projetos a serem executados, na medida dos impactos que podem gerar. Para atingir esses objetivos, o Comitê desenvolve suas ações produzindo documentos, tais como, o plano diretor com plano de ações, o plano de investimentos, os diagnósticos e os prognósticos. Assim, articulam ações de análise e de aprovação de projetos, com base nas informações que detém sobre a bacia e a região, combinando aspectos de impacto ambiental, social e econômico.

Desse modo, ganharam prioridade projetos que financiaram sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais, de coleta e de tratamento de esgotos sanitários, proteção e conservação de mananciais e adequação de locais de disposição de

resíduos sólidos, recuperação de APPs e perdas nos sistemas de abastecimento. As exigências crescentes para a elaboração dos projetos obrigaram às prefeituras a desenvolverem e capacitar equipes que estejam aptas a apresentar projetos competitivos e que possam integrar as prioridades de execução a cada período. O Comitê exerce papel importante de orientação e de apoio para que as prefeituras possam conciliar interesses locais, as prioridades para preservação dos recursos hídricos envolvidos e as necessidades socioeconômicas de cada município.

No âmbito do Projeto da UFBA, a análise dos resultados considerou que a participação social nas políticas públicas é fruto de um longo e conflituoso processo histórico de luta dos segmentos populares no Brasil. Foi com a Constituição de 1988, no bojo do processo de redemocratização do país, que a participação cidadã, na gestão de políticas públicas, foi incorporada. No campo do saneamento básico, a Lei Nacional de Saneamento Básico, aprovada em 2007 e revista em 2020, considera, como princípio fundamental, o controle social, que deve ser exercido em todas as funções de gestão por meio da participação social, ou seja: no planejamento, na regulação, na prestação e na fiscalização da prestação dos serviços.

Ao se analisar a participação social no processo de elaboração de quatro planos municipais de saneamento básico na bacia do Alto São Francisco, os resultados têm indicado que é prevalente a estratégia de tornar a participação em um evento burocrático, superficial, de tempo determinado, esvaziada no seu caráter político, por assimetrias substantivas entre os diversos atores e baixa representatividade dos indicados para participar do processo.

Assim, o estudo demonstrou que os mecanismos de participação, utilizados na elaboração dos PMSBs analisados, não foram suficientes para promover uma participação social ativa e qualificada. Nas análises realizadas, pôde-se verificar que a sociedade foi sub-representada nas instâncias de decisão; que as indicações dos representantes, geralmente, eram feitas pela administração municipal, não se constituindo em uma representação democrática. Também, o cronograma de elaboração dos Planos implicou em importante limitação aos processos participativos, não dialogando com o Plano de Mobilização e diretrizes definidas nos termos de referências para a elaboração dos planos. O conjunto de atividades realizadas, seu número, tempo disponível, local de realização, perfil e número

de participantes indicou limitações significativas da integração da população local e de seus representantes nos debates e decisões sobre o PMSB. Ressalta-se que todos os eventos foram realizados na sede municipal, na sua maioria nas Câmaras Municipais, restringindo a participação das populações das diversas localidades e da área rural.

O estudo etnográfico, realizado em Miguel Calmon, buscou investigar a percepção das pessoas sobre o PMSB, e se a metodologia utilizada pela empresa que elaborou o Plano contribuiu para o engajamento social contínuo no planejamento. Na primeira etapa do trabalho de campo em Miguel Calmon (novembro-dezembro 2021), foram analisados os oito relatórios do Plano de Saneamento Básico de Miguel Calmon, o que possibilitou uma identificação inicial dos atores envolvidos na elaboração do PMSB. Essa tarefa se mostrou mais difícil, uma vez que a gestão municipal que realizou o Plano foi substituída após as eleições de 2020. Quanto ao trabalho de campo, na primeira etapa da pesquisa, foi possível entrevistar quase todos os secretários da gestão municipal, o presidente das associações comunitárias e um par de moradores. Na segunda etapa, a pesquisa etnográfica envolveu dois meses de observação participante (agosto-outubro 2022), sendo realizadas 53 entrevistas: 9 técnicos da prefeitura, 19 presidentes de associações comunitárias, 14 moradores e 11 lideranças.

Em face das dificuldades de rememoração do processo e da metodologia participativa utilizada para a elaboração do Plano, tomou-se a decisão de identificar outros atores sociais, como lideranças e moradores, para investigar a experiência sobre os processos participativos pós plano na sociedade civil. Incluíram-se como entrevistados presidentes ou membros das diretorias de associações comunitárias de moradores em áreas rurais e urbanas.

Uma vez que o município dispõe de mais de 70 associações, optou-se em considerar essa diversificação, levando em conta, de preferência, as áreas rurais incluídas no Plano, como Itapura e Tapiranga. Contou-se com o apoio das Secretarias de Agricultura, de Saúde e de Ação Social para o desenvolvimento do estudo. Foi possível contar com a experiência de presidentes de associações de áreas rurais (Brejo Grande, Tamanco, Batateira, Baixa Funda e Assa Peixe, Mulungú dos Chiolas, Maxixe, Pai Afonso e Muriçi) e o bairro de São Vicente e Braço Mindinho, na sede municipal. Outras lideranças religiosas e sociais

foram incluídas para a realização de entrevistas, com o intuito de aprofundar as características socioculturais do município, sendo que moradores de Tapiranga e Itapura, com preferência, participaram das entrevistas. Houve a oportunidade de participar em atividades realizadas pela Secretaria de Ação Social, nos distritos de Tapirange e Itapura, com os idosos, além de visitas a colégios e participação na vida social do município. As entrevistas foram transcritas e as análises qualitativas estão sendo finalizadas para possibilitar a conclusão do projeto, em outubro de 2023.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Buscamos, com esta pesquisa, contribuir com os estudos sobre a participação em comitês estaduais de bacia hidrográfica no Brasil ao apresentar o perfil dos seus representantes membros. Pretendeu-se, ainda, identificar como os representantes percebem o seu envolvimento no processo decisório e o funcionamento dos organismos colegiados, além de oferecer informações que possam apontar aspectos importantes da sua capacidade inclusiva, tendo como premissa que uma “boa” governança é fundamental para alcançar a segurança hídrica.

Assim, o objetivo foi demonstrar quem são os atores, como indivíduos, que participam dos processos de formulação das políticas das águas no contexto dos comitês de bacia hidrográfica, no âmbito dos estados. E, ainda, apresentar reflexões e propostas, a partir do desenvolvimento do estudo e dos dados obtidos. Os dados apresentados permitiram traçar um panorama do perfil dos representantes dos organismos colegiados de gestão das águas no país. Em sua maioria, eles são do sexo masculino, pertencente às classes média e alta, de alta escolaridade e têm mais de 51 anos de idade. Percebeu-se maior concentração dos respondentes em certas áreas de formação, destacando-se os cursos de Engenharias.

Identificar “quem” participa nos comitês de bacia e observar a ‘homogeneidade’ encontrada nos conduz a duas reflexões, à princípio, contraditórias, mas que são complementares: a procura pelos diferentes e pelos parecidos. Em comitês de bacia com reduzido número de participantes, em relação ao previsto no regimento, a identificação do perfil dos representantes pode contribuir para

a busca de outras organizações e indivíduos dispostos a serem parte desses arranjos para a gestão das águas.

A busca pelo heterogêneo, como foi recomendado por Hannah Arendht, é a análise para levar para dentro desses espaços os diferentes olhares para a melhor gestão das águas. Espera-se que os arranjos de governança sejam capazes de incluir diferentes perfis nos processos deliberativos e decisórios, independentemente das posições de poder que ocupem nas relações sociais. Desse modo, percebe-se, também, a necessidade de uma participação mais equilibrada das mulheres e dos jovens nos comitês de bacia e, conseqüentemente, na gestão dos recursos hídricos.

No levantamento de dados quantitativos, obtidos pelo *Survey*, buscou-se observar como os respondentes ocupam os espaços do plenário (considerou-se os representantes titulares e os suplentes). Os membros suplentes que não estão no exercício da titularidade não votam, mas têm direito à voz nas plenárias. A existência dessa figura, a quantidade e a forma de substituição do titular estão previstas no regimento interno de cada comitê. Observou-se que há variações na inclusão desse membro, tendo alguns comitês apenas três ou quatro indicados, mas, na grande maioria deles, para cada vaga há a previsão de um titular e um suplente, sendo uma relação direta titular- suplente.

Entretanto, também foi possível observar que, em alguns comitês estaduais, especialmente os que ainda não instituíram a cobrança, um número maior de vagas que não foram preenchidas, destacam-se os maiores percentuais de vacância identificados: Rio grande do Sul, 46%; Piauí, 44% Mato Grosso, 40%; Pernambuco, 36%; Paraná, 31%; Bahia, 30%; Alagoas, 27%; Rio de Janeiro, 28%; Rio Grande do Norte, 26%. Essa observação foi realizada no momento do levantamento das listas de membros e das formas de contatos com os membros dos comitês, entretanto, para este estudo, não serão realizadas análises aprofundadas sobre esses dados.

A pesquisa evidenciou limitações de entendimento sobre os assuntos tratados e linguagem utilizada nas reuniões. Nos comentários acrescidos à questão, realizaram-se observações que foram examinadas tomando como referência as indicações de Chhotray e Stoker (2009) e Jessop (2009), como falhas de governança nos arranjos de gestão das águas, dentre elas, que falhas na governança

podem ocorrer por assimetria na parceria social, ocasionadas por falta de entendimento sobre o sistema de gestão das águas e de conhecimento técnico e falhas por ausência de responsabilização dos representantes, ocasionadas por falta de interesse dos representantes.

Portanto, internamente, a efetividade desses espaços ou sua capacidade de atuação depende do engajamento individual, enquanto protagonistas desses processos, mas também de capacitação e de qualificação dos atores que deles participam. Considera-se que a desinformação ou a falta de conhecimento por parte de alguns representantes são pontos que enfraquecem o processo do intercâmbio de ideias e um justo equilíbrio na participação dos membros nos comitês, além da sobreposição de interesses de um grupo específico na tomada de decisão.

Apesar de os Comitês constituírem mecanismos participativos e deliberativos em que os diferentes atores vinculados à gestão de recursos hídricos se articulam ao considerar uma configuração de governança, os problemas enfrentados pelos atores interessados no debate dificultam o engajamento nos fóruns participativos. Dessa forma, ao analisar os desafios enfrentados pelos comitês, as limitações apontadas nas percepções dos representantes reverberam na dificuldade em exercer plenamente a deliberação em que todos os interessados participam, independentemente de suas capacidades e de seus recursos.

Buscou-se, ainda, identificar aspectos relacionados à experiência participativa. Na tentativa de entender os interesses pelos quais os indivíduos se tornaram membros do comitê de bacia, notou-se que os entrevistados, independentemente do segmento que representavam, demonstravam interesse pela temática ambiental. Outro ponto é que o seu estabelecimento no espaço do comitê de bacia está significativamente relacionado à trajetória que o acompanha, seja como estudante seja como profissional da área (e até mesmo antes) e à sua inserção no campo, como um indivíduo apto a deliberar como membro (do comitê), em nome de sua organização.

Referente às análises dos dados dos comitês estaduais, observou-se que 39% dos respondentes, além de participarem de comitês, também são membros de outros organismos colegiados, em especial de conselhos municipais, estaduais e nacional de meio ambiente. Esse aspecto é mais frequente entre os respondentes que fazem parte do segmento do poder público municipal (49%) e da sociedade

civil (40%), indicando, assim, alguma experiência nesse tipo de atividade deliberativa. Constatou-se, ainda, que 21% dos respondentes da pesquisa participavam de outros organismos colegiados relacionados à gestão de recursos hídricos. Assim, em média, 30% dos respondentes não integravam apenas um comitê de bacia, mas, sim, uma série de redes diferentes, o que pode ampliar o impacto de seu trabalho nos comitês e vice-versa.

Sobre o tempo de participação, notou-se que a maioria dos respondentes (65,3%) é de membros de comitê por período inferior a 6 anos, tendo a variável “1 a 5 anos de participação” sido a que recebeu o maior percentual de indicações (48,3%). Nas observações dos respondentes, especialmente dos entrevistados, os extremos foram considerados limitadores para o funcionamento dos comitês. Por um lado, a permanência dos comitês por longo período compromete a renovação de ideias, de olhares e de propostas para a gestão das águas. No entanto, a renovação das organizações membro, sobretudo dos representantes, é vista como um problema ainda maior para o funcionamento dos comitês, ocasionado por assimetrias de conhecimentos. Entretanto, não foi apontado qual seria o tempo mínimo ou máximo, considerado satisfatório, para a participação nestes espaços.

Apesar de entender que cada estado possui especificidades e que elas são refletidas nas legislações criadas, sobre a renovação por período de mandato, considerando que os arranjos de governança, como destacado por Chhotray e Stocker (2009), contam com um horizonte temporal de longo prazo, e a rotatividade dos representantes foi apontada como um problema. Sugere-se, diante disso, a ampliação dos mandatos e padronização de período entre os estados.

Dentre os questionamentos que se fizeram nesta pesquisa, propôs-se abordar também a relação de representação ou “como o representa?”. Observou-se, nos dados obtidos dos questionários aos comitês estaduais, que 16% dos respondentes participavam de mais de um comitê de bacia, entendendo que existem organizações cuja área de atuação extrapola territorialmente o perímetro de um comitê. Houve relatos de respondentes que informaram participar de até 12 comitês, sendo esse um comportamento observado com maior frequência entre os representantes do estado de Minas Gerais.

Dentre as deliberações dos Conselhos Estaduais e Unidades Estaduais Executoras do Sistema questiona-se: poderia haver um indicativo de qual seria o número máximo de comitês de bacia que um ator poderia participar? O quão eficiente é a participação deste ator em cada um dos comitês no qual ele é membro? Foram notadas falhas de ajustamento dos vínculos entre representantes e representados, a partir de questões sobre a frequência de contato com sua base, ou bases de apoio/organização, sendo que 29% desses representantes não faziam contato de modo frequente. Observou-se, ainda, que 15% dos respondentes informaram já terem participado como representantes de organizações pertencentes a outros segmentos.

Sobre as dificuldades enfrentadas pelos comitês, foram apontadas, principalmente, a falta de recursos e a falta de apoio de apoio governamental, sendo também consideradas como falhas de governança, além de falhas ocasionadas por quebra da reflexão e negociação em curso entre os parceiros. A desinformação ou a falta de conhecimento por parte de alguns representantes são pontos que enfraquecem o processo do intercâmbio de ideias e um justo equilíbrio na participação dos membros nos comitês, além da sobreposição de interesses de um grupo específico na tomada de decisão.

Apesar de os Comitês constituírem mecanismos participativos e deliberativos, em que diferentes atores vinculados à gestão de recursos hídricos se articulam ao considerar uma configuração de governança, os problemas enfrentados pelos atores interessados no debate dificultam o engajamento nos fóruns participativos. Dessa forma, ao analisar os desafios enfrentados pelos comitês, as limitações apontadas nas percepções dos representantes reverberam na dificuldade em exercer plenamente a deliberação em que todos os interessados participam, independentemente de suas capacidades e de seus recursos.

Na percepção dos representantes, há dificuldades externas às ações dos comitês, de modo a influenciar as decisões governamentais e a opinião pública, deixando transparecer o fato de que os comitês ainda estão distantes de serem efetivos na gestão dos recursos hídricos. Nota-se que os respondentes indicaram que, no geral, a população ainda é alheia às atividades dos comitês. Nessa lógica, dentre os desafios está o aprimoramento dos meios de divulgação e tornar mais

atrativa a participação nos comitês para os cidadãos leigos que são afetados pelas demandas das bacias hidrográficas.

Apesar de terem sido exploradas com mais intensidade as falhas de governança encontradas, acredita-se que as discussões apresentadas contribuem tanto para as pesquisas em administração pública quanto para subsidiar o esforço de compreensão dos processos democráticos relacionados à governança da água, a partir das bacias hidrográficas, elementos importantes para a gestão desse vital recurso. A participação dos representantes é um fator crítico e princípio fundamental para a gestão e governanças das águas, tendo em vista a possibilidade de melhorar a qualidade das decisões, dar legitimidade a gestão, melhorar as relações entre os atores envolvidos.

Nesse sentido, o estudo da representação, como aponta Simione (2018), importa na medida em que permite observar quão representativa é uma instituição participativa da população em geral (idade, sexo, educação), e se não há grupos ou interesses relevantes excluídos da participação, ao mesmo tempo em que ajuda na identificação da distribuição do poder dentro das instituições participativas.

Portanto, estudar a representação em espaços deliberativos colabora para o desenvolvimento e o fornecimento de conhecimentos sobre os modos pelos quais os esforços de ampliar a participação de diferentes setores da sociedade se dão. Destaca-se que o aprimoramento da representação social é fator importante para garantir a legitimidade de tais espaços. Tal aprimoramento implica em que todos os grupos de interesse estejam representados, que tais representantes tenham a mesma condição de apresentar suas ideias, debater e se posicionar em relação à tomada de decisões.

Outro ponto que pode ainda ser acrescentado é que a representação demanda também um olhar sobre como ela construída, ou seja, como os representantes são selecionados e em que extensão a atuação deles nos comitês reflete as necessidades dos representados. Esse olhar, apresentado por este estudo, pode colaborar para o fortalecimento da democratização da gestão de políticas públicas, mais especificamente, na questão da gestão das águas.

REFERÊNCIAS

ARENDT, H. **A promessa da política**. 2ª ed. Rio de Janeiro: DIFEL, 2009.

ARENDT, H. **O que é política?** Editora: Bertrand Brasil, 3ª ed., 2002.

BARDIN. L. **Análise de conteúdo**. Lisboa, edições 70, 1997.

BOBBIO, N. **O futuro da democracia**: uma defesa das regras do jogo. Tradução de Marco Aurélio Nogueira. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

CHHOTRAY, V.; STOKER, G. **Governance Theory and Practice**: A Cross-Disciplinary Approach. Palgrave Macmillian, England, 2009.

FRASER, N. **A justiça social na globalização**: Redistribuição, reconhecimento e participação. Revista Crítica de Ciências Sociais, 63, outubro 2002: 7-20.

FRASER, N. **Reenquadrando a justiça em um mundo globalizado**. Revista Lua Nova. São Paulo, nº 77, 2009: p.11-39.

JESSOP, B. **The Dynamics of Partnership and Governance Failure**, published by the Department of Sociology, Lancaster University, Lancaster LA1 4YN, at, 2003. Disponível em: <http://www.comp.lancs.ac.uk/sociology/papers/Jessop-Dynamics-of-Partnership.pdf>

JESSOP, B. From Governance-to-Governance Failure and from Multi-level Governance to Multi-scalar Meta-governance. *In*: **The Disoriented State; Shifts in Governmentality, Territoriality and Governance**, 2009, pp.79-98.

KI-MOON, B. **Mensaje del Secretario General con Motivo de la Conmemoración del Día Mundial del Agua**. ONU, 2011. Disponível em: www.un.org.

MATOS, F. **Retratos de Governanças das Águas no Brasil**: Um estudo sobre o perfil dos representantes membros de Comitês de Bacia Hidrográficas. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração, 2020.

SIMIONE, A. A. N da S. **Participação social e efetividade da deliberação em conselhos locais em Moçambique**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração, 2018.

**Recursos hídricos na
bacia do rio Paraíba do Sul:
integrando aspectos naturais e antrópicos**

Laura De Simone Borma

Maria Angélica Toniolo

Pedro Roberto Jacobi

Evandro Albiach Branco

Gustavo Balué Arcoverde

Lincoln Muniz Alves

Manoel Ferreira Cardoso

Maíra Simões Cúcio

Maria Henriqueta Andrade Raymundo

Mariana Gutierrez Arteiro Paz

A pesquisa foi baseada em dados primários obtidos na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (BHRPS), no trecho paulista, apoiada em revisão da literatura e previsões de modelos climáticos. A análise de séries de chuva e de vazão mostrou que, apesar da precipitação na BHRPS não apresentar tendência consistente de diminuição nas chuvas nos últimos 60 anos, a cota do rio Paraíba do Sul e afluentes decresceu ao longo desse período. Mudanças no uso e na cobertura da terra e no aumento da demanda hídrica foram considerados os principais responsáveis por essa diminuição. Experimentos *in situ* mostraram que áreas de pasto permitem a infiltração de 40% da água de chuva, enquanto nas áreas de florestas a infiltração é superior a 80%, podendo atingir 100% em áreas planas com solo permeável. Tendências de mudanças no uso e na cobertura da terra mostraram que pastos degradados estão dando lugar a pastos abandonados ou em mudança de uso. Porém, essa mudança é pouco expressiva no trecho paulista da BHRPS, sendo necessária uma atuação conjunta das políticas públicas de preservação da vegetação nativa e governança das águas, associada a processo participativo e inclusivo das comunidades e atores locais.

Palavras-chave: Rio Paraíba do Sul, recursos hídricos; governança das águas; mudanças no uso e cobertura da terra; processos ecohidrológicos.

A região Sudeste do país abriga a maior megalópole da América Latina e, com ela, os desafios da gestão integrada de grandes centros urbanos em cenários de mudanças ambientais diversas. O eixo que engloba a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) – Vale do Paraíba – Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) apresenta pujante atividade econômica, alta densidade populacional, e está conectado por meio de um complexo sistema de gerenciamento de recursos hídricos. Envolvendo três importantes estados da federação – São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais – esse sistema atende a um conjunto heterogêneo de setores usuários que, ao longo do tempo, vêm demandando estruturas hidráulicas robustas e complexos sistemas de canalização e de transposição da água armazenada em grandes reservatórios.

O rio Paraíba do Sul nasce no estado de São Paulo, atravessa grande parte do estado de Minas Gerais e deságua suas águas no oceano no estado do Rio de Janeiro. Embora de grande importância para o desenvolvimento econômico da região como um todo, o rio Paraíba do Sul é imprescindível para o abastecimento hídrico da RMRJ e, mais recentemente, da RMSP. Por meio de um sistema de transposição das águas da BHRPS para a bacia do rio Guandu, a porção paulista da BHRPS é responsável por cerca de 80% do abastecimento de água da RMRJ, atendendo a cerca de 9 milhões de pessoas (CEIVAP, 2020). Construído em 1952, o sistema de abastecimento do Guandu tem outorga instalada de 130 m³/s. A transposição das águas da BHRPS para o Sistema Cantareira é feita por meio da interligação entre o reservatório do Jaguari, localizado na Serra da Mantiqueira e o reservatório Atibainha, na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) (FERREIRA, 2015). Essa transposição foi considerada de utilidade pública, emergencial e estratégica para lidar com a crise hídrica de 2013-2015 e aumentar a segurança hídrica na Macrometrópole Paulista e nas Bacias PCJ. Implantada em 2019, essa interligação se realiza

por meio de instalações para captação de uma vazão média de cerca de 5,13 m³/s e uma vazão máxima de 8,5 m³/s.

A despeito da importância das águas do rio Paraíba do Sul para abastecimento hídrico de grandes metrópoles brasileiras, crises hídricas decorrentes de fatores climáticos extremos têm exposto a fragilidade desse sistema ao atender demandas crescentes em cenários de incertezas climáticas e ambientais. Ondas de calor concomitantes à estiagem prolongada nos verões de 2003 e 2013 reduziram a oferta de água na BHRPS. Entre 2000 e 2003, a chuva foi abaixo da média histórica nas cabeceiras do rio Paraíba (DEVIDE *et al.*, 2014), o que resultou em uma redução de vazões nos anos de 2000, 2001 e 2002, com níveis mais baixos registrados em todo o período histórico, desde 1931 (FERREIRA, 2015; MARENGO; ALVES, 2005).

A seca extrema que atingiu a região sudeste de São Paulo, no início da década de 2010, é um outro exemplo contundente da fragilidade do sistema de abastecimento hídrico na região. Em 2013-2014, com epicentro localizado no Estado de São Paulo, uma seca meteorológica levou à quase exaustão de um dos principais reservatórios do sistema Cantareira (ANA, 2017; ARENGO *et al.*, 2015). Esse evento demandou dos gestores e dos usuários grande preocupação e a adoção de estratégias, por vezes questionáveis, para manutenção do fornecimento de água – ainda que em níveis precários. Em meio à crise, uma das propostas sugeridas e que se encontra hoje implantada foi a transposição de parte das águas produzidas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS) Ainda que em proporções reduzidas, em relação ao montante que é transposto para a RMRJ, não é difícil compreender que alterações desse tipo têm o potencial de impactar toda a região abrangida pela BHRPS e que, assim, devem ser acompanhadas de um estudo criterioso, envolvendo diversos setores da sociedade civil (FERREIRA, 2015).

Não são somente problemas de escassez hídrica que afetam a região. Na passagem do ano de 2009/2010, o município de São Luiz do Paraitinga, localizado na Serra do Mar, e a montante do ponto que oficialmente dá origem ao rio Paraíba do Sul (conjunção entre os rios Paraitinga e Paraibuna, no reservatório de Paraibuna) sofreu inundação histórica que devastou todo o centro histórico, provocando perdas materiais incalculáveis. O desastre só não resultou em per-

das humanas expressivas porque foi possível a retirada da população local em tempo hábil. Esse evento foi ocasionado por um período prolongado de intensa precipitação na bacia, seguido de um evento de chuva atipicamente alto ocorrido na passagem do ano de 2009/2010 (ARGELLO, 2017).

Embora o evento de chuva tenha sido expressivo, a opinião pública considera que um dos fatores que podem ter ocasionado a enchente no centro histórico de São Luiz do Paraitinga foi a cobertura do solo que, nas margens do rio Paraitinga, é constituída, principalmente, por pastagem degradada. Foi dessa percepção que nasceu o projeto Conexão Mata Atlântica, que conta com recursos do Global Environmental Facility (GEF) e da FAPESP para estudos de recuperação da vegetação nativa na BHRPS, com vistas à recuperação e melhoria dos serviços florestais de regulação hídrica e climática (<https://conexaomataatlantica.mctic.gov.br/cma/portal/>).

Em meio a esse cenário, apresentamos ao edital CAPES/ANA 2016 uma proposta de estudo do atual funcionamento do sistema de gerenciamento de recursos hídricos da BHRPS, bem como das perspectivas de mudanças nesse sistema decorrentes de mudanças no clima, eventos extremos e alterações nas estruturas de oferta e demanda. A área selecionada para estudo foi o trecho paulista da BHRPS. No âmbito das ciências naturais foram contemplados estudos do meio físico, interações solo-planta-atmosfera, mudanças climáticas, e sua influência na capacidade de produção hídrica atual e futura da bacia. No âmbito das ciências sociais, desenvolveram-se estudos do meio antrópico por meio de um melhor entendimento das relações oferta-demanda, gestão de recursos hídricos e políticas de uso e distribuição da água.

Os métodos empregados envolveram três eixos principais: 1) pesquisas in situ, realizadas em bacias experimentais instrumentadas, implantadas durante a realização do projeto, 2) modelagem computacional, e 3) interação com agentes da sociedade civil por meio de entrevistas e questionários. Os dados obtidos permitiram a construção de um panorama integrado da questão hídrica no trecho paulista da BHRPS, sob os pontos de vista biofísico, de governança e de participação social. Além de melhor entendimento sobre os vários e complexos aspectos envolvidos na gestão de recursos hídricos da BHRPS, o estudo teve por objetivo aproximar ciência e sociedade, oferecendo subsídios e fomento à efetiva participação e controle social nos processos decisórios.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Diagnosticar elementos significativos para a capacidade adaptativa da gestão das águas nas bacias hidrográficas sob influência das regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Projetar cenários de variação na disponibilidade hídrica para a região de estudo.
- II. Identificar microbacias prioritárias para a conservação dos recursos hídricos.
- III. Avaliar os arranjos institucionais multinível para a gestão dos múltiplos usos da água.
- IV. Analisar os instrumentos de gerenciamento adaptativo.
- V. Identificar e fomentar processos participativos voltados para a governança das águas

IMPACTOS

CENÁRIOS DE VARIAÇÃO NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Analisamos dados observacionais de chuva e vazão seguindo metodologia apresentada em Marengo e Alves (2005), com dados de precipitação obtidos da estação pluviométrica de Pindamonhangaba, (Hidroweb), e das bases de dados globais: *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) e *Climate Data Record* (CDR), (Figura 1). Os resultados destacam uma tendência na cota do rio decrescendo com o tempo (Figura 2). Os dados da estação de Pindamonhangaba mostram diferentes padrões de declínio da cota com o tempo, quando se considera dois diferentes períodos - antes e depois da década de 1960 - década na qual

começaram a operar os grandes reservatórios situados a montante da BHRPS - Santa Branca e Paraibuna (Figura 3).

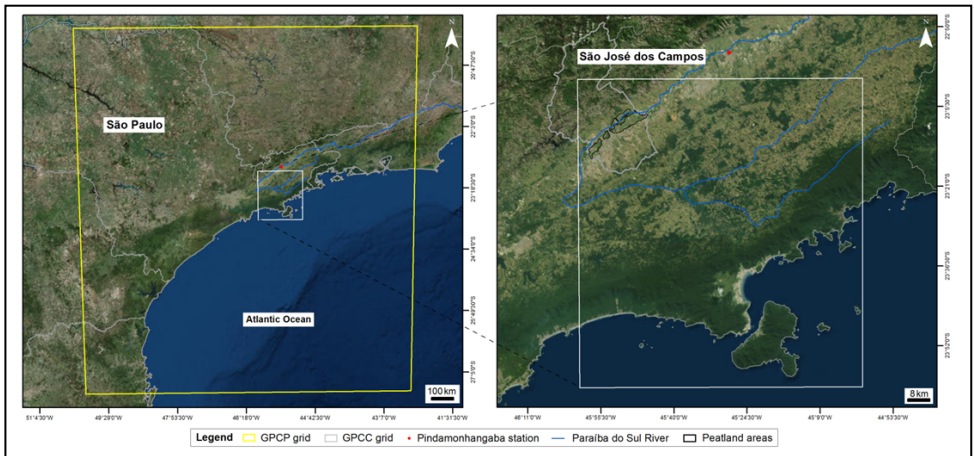


Figura 1. Áreas e pontos selecionados para determinação da série histórica de chuva na BHRPS: célula de grade do GPCP (linha amarela) (resolução espacial de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$); célula de grade do GPCC (linha cinza) (resolução espacial de $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$) e estação pluviométrica de Pindamonhangaba (ponto vermelho) operada pela Agência Nacional de Águas (ANA). (Fonte: BORMA *et al.*, 2018).

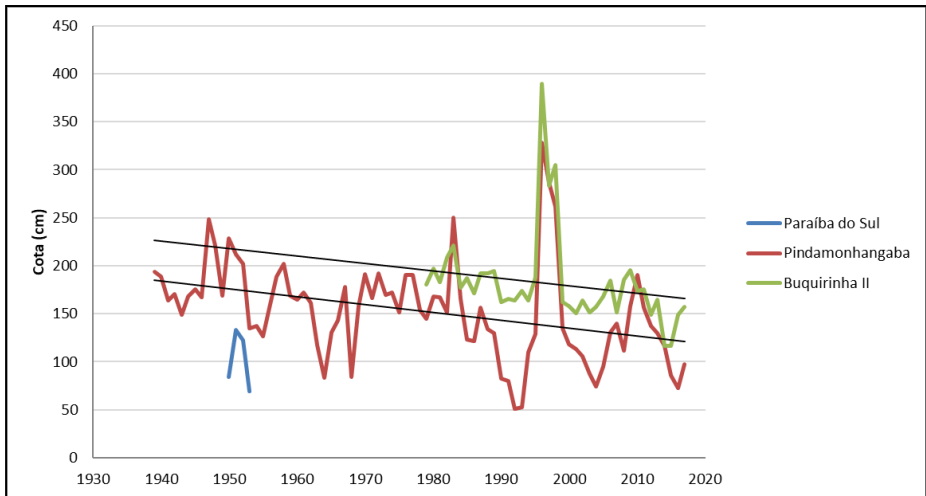


Figura 2. Variação na cota do rio Paraíba do Sul - médias anuais obtidas das estações fluviométricas Paraíba do Sul, Pindamonhangaba e Buquirinha II, operadas pela ANA (Adaptado de BORMA *et al.*, 2018).

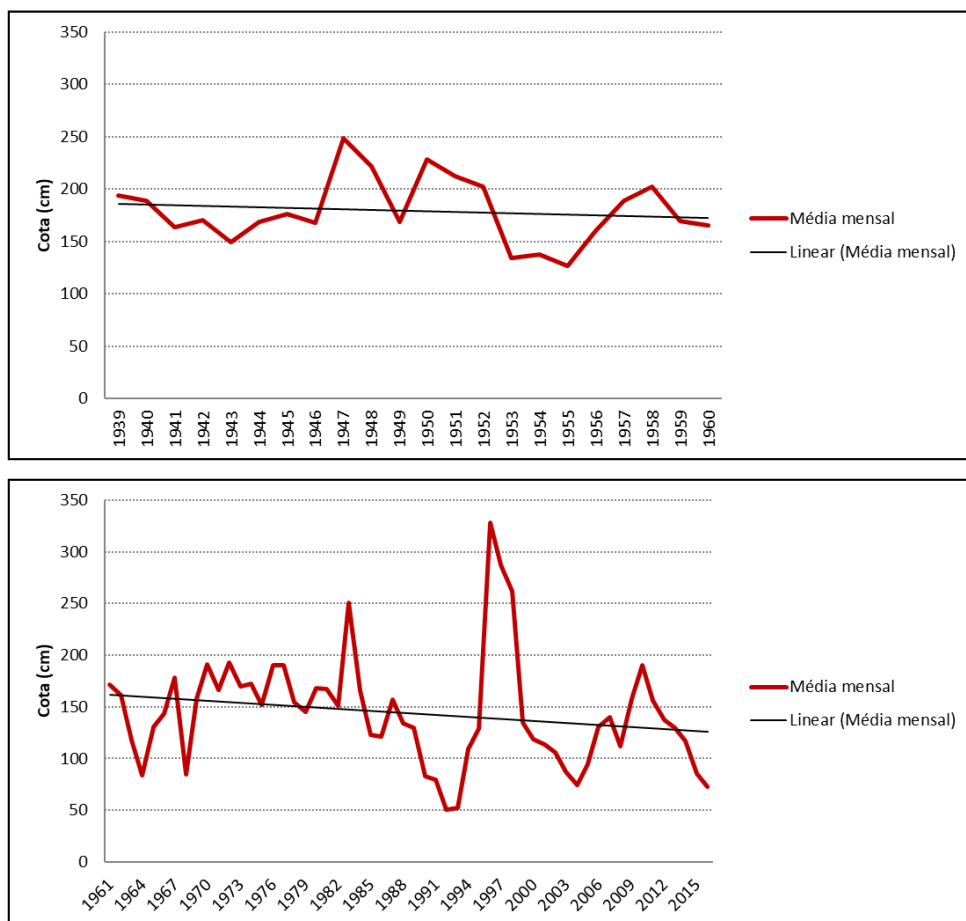


Figura 3. Variação da cota do rio Paraíba do Sul na estação de Pindamonhangaba para os períodos de A) 1939-1960 e B) 1961-2017 (Adaptado de BORMA *et al.*, 2018).

Os resultados mostram que as maiores anomalias de chuva, positivas ou negativas, ocorrem durante os meses chuvosos, ou seja, entre setembro e março (Tabela 1). As tendências de diminuição na cota do rio Paraíba do Sul, com o tempo, foram associadas a duas causas potenciais: barragens construídas na década de 1960 e pressões antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia do Paraíba do Sul, (MARENGO; ALVES, 2005 e BORMA *et al.*, 2018).

Tabela 1. Mudança na anomalia de precipitação (%/ano) em relação à climatologia de 1979 a 2005, em Pindamonhangaba (Pinda) e nas regiões das bases de dados GPCC e GPCP (adaptado de Borma *et al.*, 2018).

	JAN	FEV	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
PINDA	1.0	1.5	0.5	-2.4	-0.5	-2.3	4.8	1.0	0.8	2.5	-0.1	0.4
GPCC	0.7	0.1	-1.3	-2.3	0.1	-3.1	0.3	-2.7	-0.5	0.1	-0.1	-1.1
GPCP	0.7	0.2	-0.2	-1.7	-0.4	-1.3	-0.4	-1.2	0.0	-0.3	-0.2	-0.9

Projeções futuras foram analisadas a partir de modelos climáticos globais e regionais pelos pesquisadores Manoel Cardoso e Lincoln Alves. Os resultados dos modelos globais (CMIP6) mostram, para o período de 2021 a 2040, tendência leve de diminuição das chuvas, em condições de baixas e altas emissões de gases de efeito estufa (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). Já para o período 2040-2100, as projeções são de tendência leve de aumento das chuvas (GUTIERREZ *et al.*, 2023). Projeções modelo climático regional (RegCM4) forçado com modelos globais CMIP5 e RCP8.5. indicam, para o período 2020-2100, tendência de diminuição de 10% na precipitação anual da BHRPS. Porém, as diminuições são mais pronunciadas no inverno (período seco), seguido da primavera e outono. Para a temperatura, as projeções indicam aumento de temperatura do ar em todas as estações do ano, podendo atingir até 4°C em 2100 (MIRANDA, 2019).

Medidas *in situ* realizadas em bacia experimental instrumentada (Estação Experimental Ecohidrológica de São Francisco Xavier – EEE-SFX) realizadas pelos bolsistas de pós-doutorado do presente projeto, sob a coordenação da pesquisadora Laura De Simone Borma demonstram que condições de umidade e potencial de água no solo favoráveis à infiltração da água de chuva ocorrem principalmente no período chuvoso (Figura 4) – em particular nos meses de novembro a abril, realçando a importância da chuva do período chuvoso na recarga e disponibilidade hídrica da BHRPS (BORMA *et al.*, 2023).

Além dos impactos das áreas de pasto na erosão e a consequente degradação da qualidade do solo e das águas superficiais, estudos observacionais realizados pela pesquisadora Laura Borma e sua equipe demonstraram que, em comparação com as áreas de floresta, as pastagens não favorecem a infiltração da água

no solo. De fato, medidas de infiltração direta indicaram, para o pasto, uma infiltração de apenas 40% da água de chuva, contra uma infiltração superior a 80%, em áreas de floresta de regeneração recente e antiga (BORMA *et al.*, 2023).

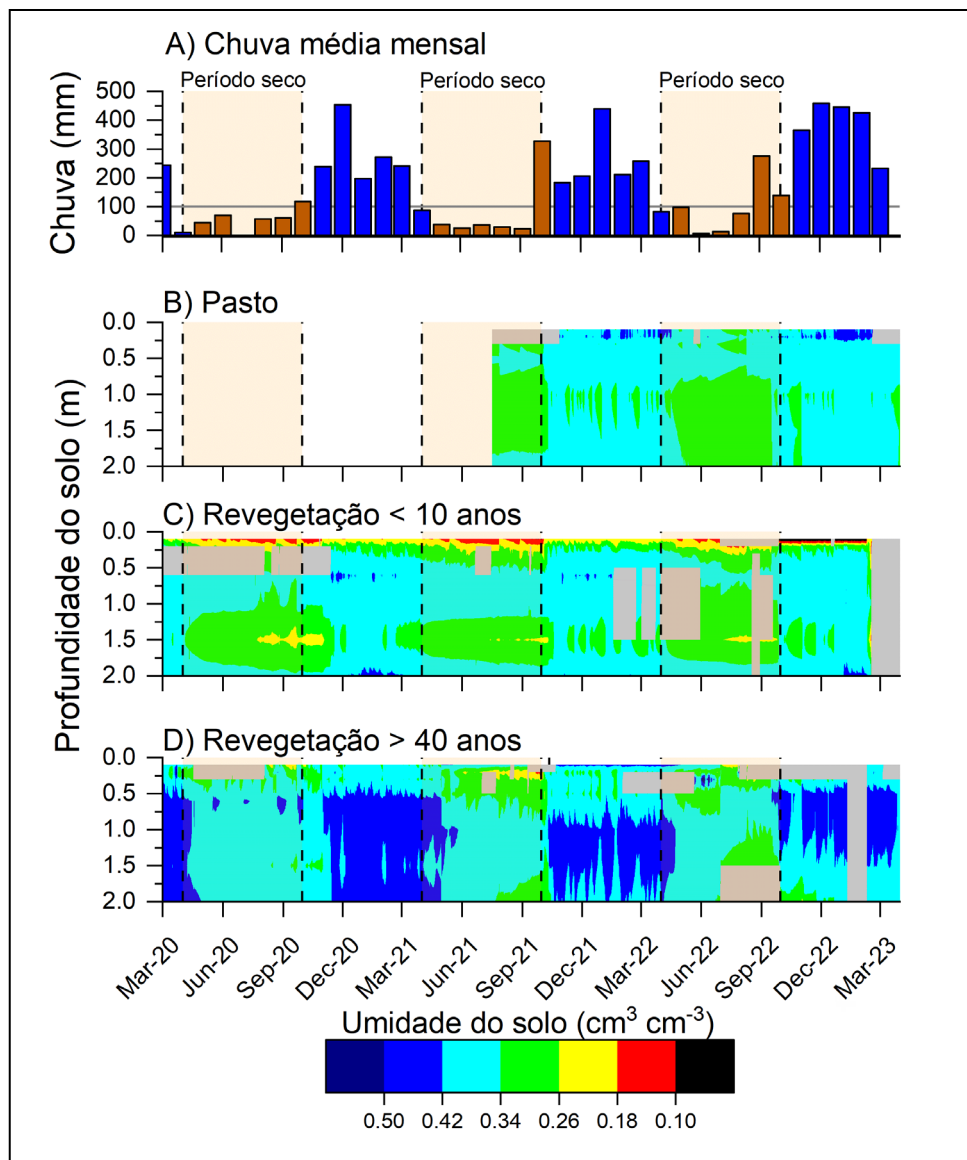


Figura 4. Chuva e teor de umidade volumétrico (θ) nas três áreas de estudo – pasto, R10 e R40 (adaptado de BORMA *et al.*, 2023).

Por outro lado, tendências de mudanças no uso e na cobertura da terra realizados pelo pesquisador Gustavo Arcoverde indicaram uma leve substituição, entre 2010 e 2018, de pastos degradados por pastos ‘abandonados’ ou em recuperação. Essa mudança no padrão pode ser reflexo do incentivo à recuperação florestal que tem sido dado na BHRPS, como um todo. Ainda que essas mudanças ainda sejam tímidas – variando de 432 km² para 476 km² entre 2010 e 2018 – a tendência de substituição de pastos degradados por florestas, se mantida, poderá favorecer a infiltração de água na bacia, promovendo um aumento nos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica e climática (BORMA *et al.*, 2022).

Para um cenário de leve aumento das chuvas do período chuvoso, identificado pelas projeções climáticas global e regional até 2040 associado a um aumento nas áreas de floresta da BHRPS por meio da supressão do pasto, estima-se que haja um efeito benéfico na disponibilidade hídrica da bacia, promovendo uma expansão da capacidade adaptativa da BHRPS. Importante mencionar que esse cenário não considera a influência de aumento na demanda hídrica na bacia. Por outro lado, se houver aumento da demanda, sem mudanças no uso e ocupação no sentido de favorecer as áreas de floresta, projeta-se um aumento das crises hídricas em episódios de seca climatológica extrema.

AVALIAÇÃO DOS ARRANJOS INSTITUCIONAIS PARA A GESTÃO DOS MÚLTIPLOS USOS DA ÁGUA

O atendimento a este objetivo específico está sendo tratado na tese de doutorado de Maíra Simões Cucio (PG-FECFAU/UNICAMP), com previsão de defesa em fevereiro de 2024. Dentre os resultados dessa pesquisa, realça-se o quadro de demandas da BHRPS, elaborado a partir de dados publicados no SNIRH (<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>), que considera os usos de abastecimento (urbano e rural), industrial e uso agrícola, bem como dos dados disponibilizados pela ANA para os setores de geração de energia termelétrica e de mineração, a soma das demandas de todos esses setores resultou no total de 50,79 m³/s (Tabela 2).

Tabela 2. Quadro de demandas da BHRPS (ANA-SNIRH, 2015)

UNIDADE DE PLANEJAMENTO	DEMANDA (M ³ /s)									TOTAL POR ESTADO
	URBANO	RURAL	INDÚSTRIA	TERMOELÉTRICAS	MINERAÇÃO	IRRIGAÇÃO	criação ANIMAL	TRANSPOSIÇÕES	TOTAL	
Trecho Paulista	5,70	0,22	4,40	1,11	0,05	2,36	0,41	5,13	14,26	14,26
Preto Paraibuna	1,74	0,05	2,18	0,06	0,01	0,15	0,19	-	4,37	9,50
Compé	1,92	0,20	0,85	0,00	0,03	1,63	0,50	-	5,13	
Médio Paraíba do Sul	2,59	0,08	7,62	0,00	0,01	0,23	0,21	120	10,74	27,03
Piabanha	1,23	0,10	0,09	0,00	0,01	0,89	0,09	-	2,41	
Rio Dois Rios	0,72	0,08	0,03	0,00	0,01	0,97	0,19	-	2,00	
Baixo Paraíba do Sul	2,02	0,18	1,53	0,63	0,01	6,62	0,49	-	11,48	
Sub-bacia do Rio Pirai	0,17	0,01	0,18	0,00	0,00	0,02	0,03	-	0,40	
Bacia do Rio Paraíba do Sul	16,09	0,92	16,9	1,80	0,12	12,86	2,11	-	50,79	50,79

Para avaliação da organização e dos arranjos envolvidos na gestão dos múltiplos usos da água, foi realizada pesquisa bibliográfica com o intuito de levantar informações sobre gerenciamento integrado de recursos hídricos, modelos de gestão, governança da água, governança multinível e usos múltiplos da água. O resultado foi a elaboração de uma matriz de responsabilidades, desenvolvida a partir do cruzamento dos diversos usos da água (colunas) com as funções do sistema de gerenciamento (linhas), considerando os diversos níveis de gestão.

O levantamento dos principais usos da água na bacia realizou-se a partir de pesquisa no Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (PIRH-PS). As funções elencadas nas linhas das matrizes foram obtidas mediante pesquisa bibliográfica em leis, decretos, relatórios, além do PIRH-PS. A pesquisa nessas fontes mostrou que são inerentes ao sistema de gerenciamento de recursos hídricos as funções de formulação de políticas públicas, de-

liberação de políticas públicas, emissão de outorgas de uso da água, operacionalização da cobrança pelo uso da água, regulação de atividades que utilizam recursos hídricos, fiscalização, além de comunicação sobre assuntos relacionados aos usos da água. Os resultados do estudo estão apresentados na Figura 5.

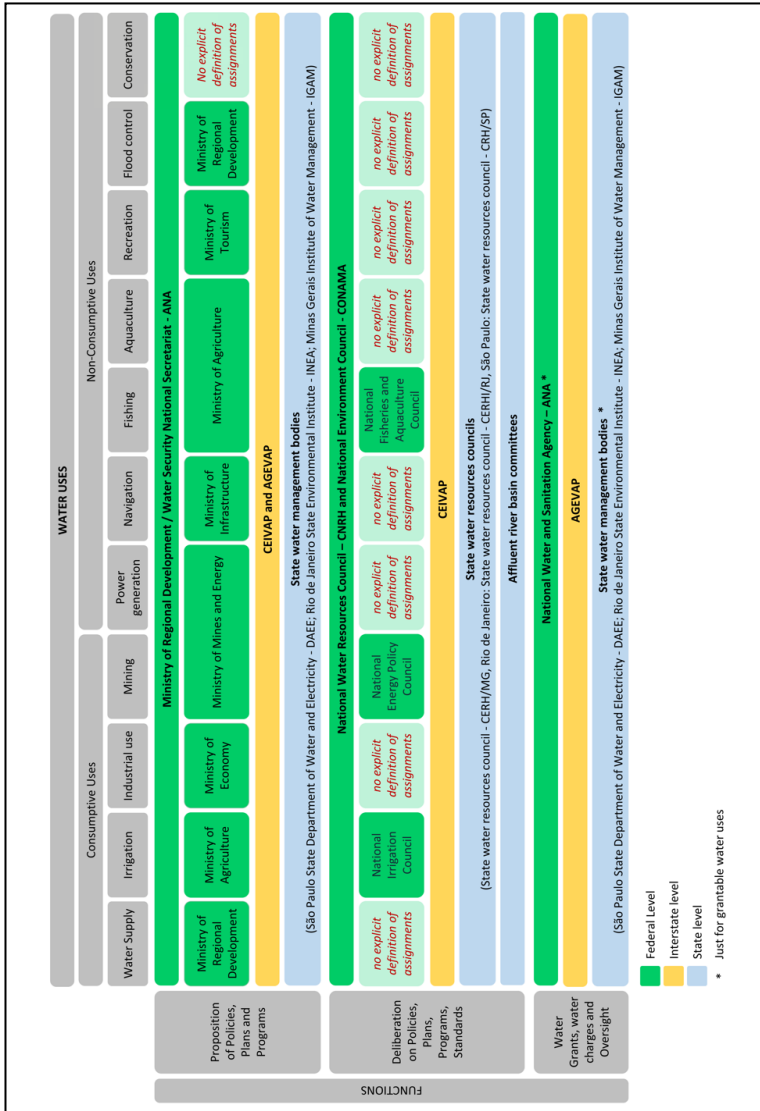


Figura 5. Matriz de responsabilidades, considerando a relação entre o sistema de gestão e os usos da água na BHRPS (CUCIO, 2018).

Observa-se a transversalidade do Ministério do Desenvolvimento Regional na proposição de políticas, planos e programas, na sua maior parte executados por intermédio da Secretaria Nacional de Segurança Hídrica, cujas atribuições são definidas pela Lei Federal 13.844/2019, e incluem a formulação, revisão, implementação e monitoramento da Política Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e seus instrumentos (Figura 5). Essa transversalidade pode ser atribuída à atuação do Ministério do Meio Ambiente, por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (atual Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano e Qualidade Ambiental), cujas atribuições são voltadas para a proposição de políticas, planos e normas e definir estratégias para a gestão integrada da água, conforme Decreto Federal nº 8.975/2017.

É interessante observar que a organismo de bacia hidrográfica (CEIVAP) e a agência de bacia (AGEVAP) figuram como responsáveis pela função de propor de políticas, planos e programas, no nível da bacia hidrográfica de domínio federal. A competência de elaboração dos Planos de Bacias recai sobre as agências de bacia, e essas se configuram como o mais importante instrumento de gestão no âmbito de bacias hidrográficas. CEIVAP e AGEVAP têm, portanto, atuação transversal nesse aspecto.

Na função de deliberar políticas, planos e programas, evidencia-se o papel dos comitês de bacia e conselhos de recursos hídricos no sistema de gestão dos recursos hídricos. A mais alta instância é ocupada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que tem um papel transversal em termos de usos e níveis de água, dada a sua responsabilidade na deliberação sobre os diversos usos da água e na análise de propostas de alterações à legislação de recursos hídricos, incluindo a Política Nacional de Recursos Hídricos, que tem impacto em todos os níveis de gestão.

Cita-se, também, a atuação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que tem, dentre suas atribuições, estabelecer normas e padrões de controle e manutenção da qualidade ambiental. De acordo com a Lei Federal nº 8.028/1990, o CONAMA é responsável por assessorar, estudar e propor, ao poder público, diretrizes políticas de meio ambiente e de recursos naturais e decidir, dentro de sua competência, normas para alcançar um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

As funções de outorga e de cobrança pelo uso da água apresentam apenas dois níveis, pois são operacionalizadas de acordo com o domínio do recurso hídrico em questão: federal ou estadual. Quando se trata de um corpo hídrico de domínio federal, como é o caso do Rio Paraíba do Sul, a outorga e a cobrança são operacionalizadas pela ANA, e revertidos à AGEVAP, por sua atuação como agência de bacia, para o financiamento de projetos na bacia, de acordo com o Plano da Aplicação Plurianual, aprovado pelo CEIVAP. Há ainda a função de fiscalização, que também apresenta dois níveis, de acordo com o domínio, e sendo a ANA responsável pela fiscalização dos corpos hídricos federais.

A matriz de responsabilidades (Figura 5) demonstrou também que a função de proposição de políticas, planos e programas em nível nacional tem maior definição de papéis, e as instituições envolvidas nessa função podem traçar estratégias, planejar ações e definir regras e formas de uso dos recursos hídricos, concedendo-lhe alguma influência sobre o sistema de gestão de recursos hídricos.

Destaca-se, nesse aspecto, a atuação da ANA, cuja atuação transversal, não focada em um uso específico da água, torna-se interessante do ponto de vista da gestão integrada dos recursos hídricos. Sabe-se que, nos casos de usos da água que envolvem menos interesse econômico, conforme citado acima, a atuação da ANA tem relevância, evitando que interesses econômicos se sobreponham à gestão destes usos. Salienta-se, ainda, a atuação relevante do CEIVAP e da AGEVAP no âmbito da bacia hidrográfica de domínio federal, tanto na proposição como na deliberação de planos e programas, o que apresenta influência também nas bacias afluentes.

ANÁLISE DOS INSTRUMENTOS DE GERENCIAMENTO ADAPTATIVO

O enfrentamento a esse objetivo do projeto foi realizado a partir de uma pesquisa de iniciação científica da aluna Denise Pereira de Freitas, sob a orientação de Evandro Albiach Branco e Maíra Simões Cucio. O objetivo foi realizar um estudo de análise de conteúdo a partir do PIRH-PS, buscando compreender a permeabilidade a conceitos e práticas que caracterizam abor-

dagens recomendadas pela literatura de Gerenciamento Adaptativo e Capacidade Adaptativa.

As análises foram realizadas a partir de dois processos. O primeiro, que estabelece uma estrutura de análise semântica, caracteriza os termos em questão, define suas propriedades e relações, em um estudo exógeno a priori. Uma vez analisado, o material de leitura interpretativa é alvo de relações, confronto de ideias, contradição ou confirmação de opiniões (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A posteriori, um estudo endógeno é realizado, com o intuito de localizar propriedades da Capacidade Adaptativa e do Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos no PIRH-PS. Confrontado o documento e as informações reunidas, são diagnosticados os elementos significativos para a capacidade adaptativa na gestão hídrica, pertencentes ao eixo da governança e análise institucional.

Implementado no primeiro semestre de 2022, o PIRH-PS é acompanhado pelo CEIVAP em seus 15 anos de vigência. As discussões quanto à atualização do Plano foram introduzidas em 2012, quando então se desenvolveu o diagnóstico da BHRPS, por uma organização contratada, assim como o prognóstico quantitativo. Não findado o contrato, em meados de 2018, a empresa Profill Engenharia e Ambiente S. A. passou a ser responsável por reunir informações do CEIVAP, da bacia federal, revisar o diagnóstico desenvolvido e elaborar um prognóstico, estruturar diretrizes, programas de ação e delinear um roteiro de implementação do Plano.

Proposta pela ANA, uma readequação e reformulação foi feita no Plano, a fim de promover uma melhor integração entre os instrumentos de planejamento, fortalecer o processo participativo e decisório, facilitar a operacionalização das ações e otimizar os recursos disponíveis. Outrora, os Planos de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes (PRHBA) eram recortes do Plano Federal, a ausência da assimilação das sub-bacias como componentes da BHRPS não retrata a realidade. Foram formados grupos de trabalho (GT Plano) para o acompanhamento e revisões do PIRH-PS, com representantes da AGEVAP, Profill Engenharia, ANA, Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Instituto Estadual do Ambiente (INEA), e Comitês afluentes da Bacia – Comitês do Médio Paraíba, Piabanha, Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana, Preto

Paraibuna e Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (trecho paulista). Grupos menores (por região) foram estabelecidos a fim de discutir o âmbito das sub-bacias, os PRHBA se tornaram mais detalhados, com visões do micro e macrorregião.

O processo participativo, capitaneado pela ANA, abordou uma visão holística com a aproximação dos PRHBA e órgãos gestores. A recomendação da ANA consiste na divisão do documento em três fases compostas, com o desenvolvimento do diagnóstico e prognóstico da Bacia Federal, envolvimento dos Comitês das Bacias Afluentes e desenvolvimento dos Planos Afluentes Mineiros e Fluminenses, desenvolvimento dos Manuais Operativos dos Planos (MOP), envolvimento do CEIVAP e consolidação do PIRH-PS. As ações foram idealizadas para que houvesse a integração entre os Comitês, sendo adotados indicadores e metas que acompanhem a implementação das ações do Programa, contrário aos Planos anteriores que desconsideram as peculiaridades locais, abordavam macrotemas de forma geral, com ações abrangentes e gerais.

Nesta pesquisa, partimos da premissa de que a gestão sustentável dos recursos hídricos e a implementação da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) só pode ser realizada em condições de gerenciamento hídrico adaptativo (PAHL-WOSTL *et al.*, 2010). Os sistemas gerenciados são complexos e ressaltam incertezas, que dificultam a precisão em prever resultados de intervenções, conhecimento e controle de processos relevantes.

A gestão hídrica é um processo político e envolve a implementação de um conjunto de normas, estabelecidas nas dimensões federal, estadual e municipal; um processo sistemático de melhoria das políticas e práticas de gestão, promove a adaptação frente a resultados de estratégias implementadas (PAHL-WOSTL *et al.*, 2010). O gerenciamento adaptativo, uma abordagem da gestão ambiental é apresentada em três princípios: i) experimental sujeito a discordâncias, hipóteses passíveis de confirmação ou falsificação; ii) multiescalar e hierarquicamente ordenado, o modelo é composto por subsistemas; iii) baseado em níveis locais de manejo, sistemas em maior escala devem trazer a perspectiva de estruturação de políticas de dentro para fora. Elementos do manejo adaptativo identificados em teorias e práticas são: a revisão regular de objetivos de gestão; modelos do sistema gerenciado; opções de manejo; monitoramento

e avaliação de resultados; mecanismos que incorporem o conhecimento em decisões futuras; estruturas colaborativas com stakeholders; e o aprendizado (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2004).

O manejo dos recursos hídricos estuda a natureza do sistema a ser manejado, as metas e as formas de alcance dos objetivos; inserido em uma comunidade epistêmica, o envolvimento de stakeholders caracteriza o modelo, manifestado em abordagens de planejamento. O regime adaptativo e integrativo aborda a aquisição de conhecimentos a partir do manejo de sistemas complexos, governança policêntrica e horizontal, com a vasta participação de atores (PAHL-WOSTL *et al.*, 2010).

A assimilação de dados e a aproximação de setores propõe a investigação de problemas emergentes, integração das políticas implementadas e setores, observadas diferentes escalas de análise e manejo, alinhado à formulação de políticas, implementação, monitoramento e avaliação, metas são configuradas no ciclo de aprendizagem do manejo adaptativo. A infraestrutura apropriada, descentralizada e diversificada, assim como recursos financeiros advindos da rede pública e privada são propriedades de modelos integrativos e adaptativos (PAHL-WOSTL *et al.*, 2010).

Selecionados os trechos do PIRH-PS Consolidado e Resumo Executivo PIRH-PS Consolidado, a busca pelos temas-chave que representem a adaptabilidade nas peças de planejamento do Plano confrontam os documentos e as propriedades do gerenciamento adaptativo. O material de leitura interpretativa é alvo de relações, confronto de ideias, contradição e/ou confirmação de opiniões, são diagnosticados os elementos significativos para o gerenciamento adaptativo da gestão hídrica, pertencentes ao eixo da governança e análise institucional.

No Resumo Executivo, foram reunidos 7 trechos que abordam cenários, 5 trechos que relatam choques e 6 trechos que relatam respostas aos choques; dentre os cenários apresentados, há forte presença do caráter econômico. O PIRH-PS Consolidado tendencialmente, apresenta 12 trechos que abordam cenários, 5 trechos que relatam choques e 14 respostas aos choques. Dentre os documentos analisados, há predominância de aspectos socioambientais relacionados e estruturas/ações aos choques político-institucionais. Mudanças climáticas foram retratadas ao longo do texto de forma comedida e denominadas

como “eventos extraordinários”. Múltiplas trajetórias foram traçadas com viés econômico e com relação ao abastecimento e escassez.

O estudo conduzido concluiu que se observa objetivamente nos documentos analisados poucas menções e estudos que abordam cenários futuros, com raras abordagens que correlacionam mudanças climáticas ou a avaliação de múltiplas trajetórias. Choques político-institucionais e estruturas/ações a serem tomadas em casos de choques econômicos, não são abordados no planejamento da Bacia.

No PIRH-PS Consolidado, os aspectos socioambientais e ações em decorrência de choques político-institucionais estão mais presentes. Frente aos atuais eventos extraordinários e prognósticos, como os apresentados pelo IPCC (2021/2022), o Gerenciamento Adaptativo se faz essencial, com destaque à aprendizagem e à integração entre os diferentes órgãos competentes à gestão dos recursos hídricos. A capacidade adaptativa e ações antecipatórias governamentais devem ser fortalecidas, a fim de lidar com incertezas.

FOMENTO DE PROCESSOS PARTICIPATIVOS VOLTADOS À GOVERNANÇA DAS ÁGUAS

Durante o ano de 2019, foi efetuado, no trecho paulista da bacia do Paraíba do Sul, o processo formativo “Cenários da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul a partir da Educação Ambiental”, que envolveu atores com representação em todas as regiões da bacia, em um processo estruturado em dois módulos: diagnóstico ambiental participativo e construção de cenários futuros. Foram realizados 11 encontros presenciais (tempo-espaço-fixos), em um processo itinerante, percorrendo diversos pontos da bacia. O processo formativo envolveu também atividades assíncronas (tempo-comunidade), totalizando 190 horas de atividades. Esse processo foi coordenado por Evandro Albiach Branco, Maria Henriqueta Andrade Raymundo e a pós-doutoranda do projeto Mariana Gutierrez Arteiro da Paz. A proposta pedagógica do processo formativo, (Figura 6), incorporou a multirreferencialidade, processo que busca identificar, na realidade analisada a interdependência dos fenômenos, os compreendendo por

meio de suas conexões, interfaces, bem como de suas contradições, fugindo de padrões pré-estabelecidos.

As atividades assíncronas (tempo-comunidade) envolveram espaços diversos de aprendizados, nos quais os participantes não contaram, necessariamente, com a presença dos formadores e/ou coordenadores do curso, considerando que esse processo pressupõe diálogos com o cotidiano dos participantes, em uma observação e interação com o território em que se vive. O processo educativo do tempo-comunidade deu-se, principalmente, por meio do planejamento e da execução de duas pesquisas sobre: i) a percepção socioambiental junto aos moradores da BHRPS e ii) construção de cenários futuros da bacia, e somou 62 horas de atividades.

Destaca-se que o processo formativo possibilitou a formação dos participantes em políticas públicas de educação ambiental e metodologias participativas; o diagnóstico participativo da BHRPS, porção Paulista, utilizando metodologias de mapeamento participativo; atuação dos formandos como pesquisadores colaboradores do projeto na pesquisa de percepção; e construção participativa de cenários qualitativos.

A pesquisa de percepção socioambiental mobilizou os participantes do processo formativo e pesquisadores do projeto. Isto ocorreu desde o delineamento metodológico do projeto, redação do instrumento de pesquisa até a condução das entrevistas. Foram 32 pesquisadores envolvidos, sendo 10 vinculados a instituições de pesquisa que facilitaram o processo - INPE, UNIVAP e USP - e 22 participantes do processo formativo (estudantes), que atuaram como pesquisadores populares.

Foram entrevistados moradores de todos os municípios da porção paulista da BHRPS (Figura 7), com amostragem de 339 pessoas. Esta pesquisa gerou um relatório específico (URLib - Pesquisa de percepção ambiental dos moradores da bacia do Paraíba do Sul – trecho paulista | 8JMKD3MGP3W34R/42QGNLE (inpe.br) e, conjuntamente com outros elementos construídos de forma participativa durante o processo (cartografia social, levantamento de dados científicos e em bases oficiais, workshops, visitas técnicas), gerou sólidas bases para a etapa de construção de cenários.



Figura 6. Proposta pedagógica do processo formativo

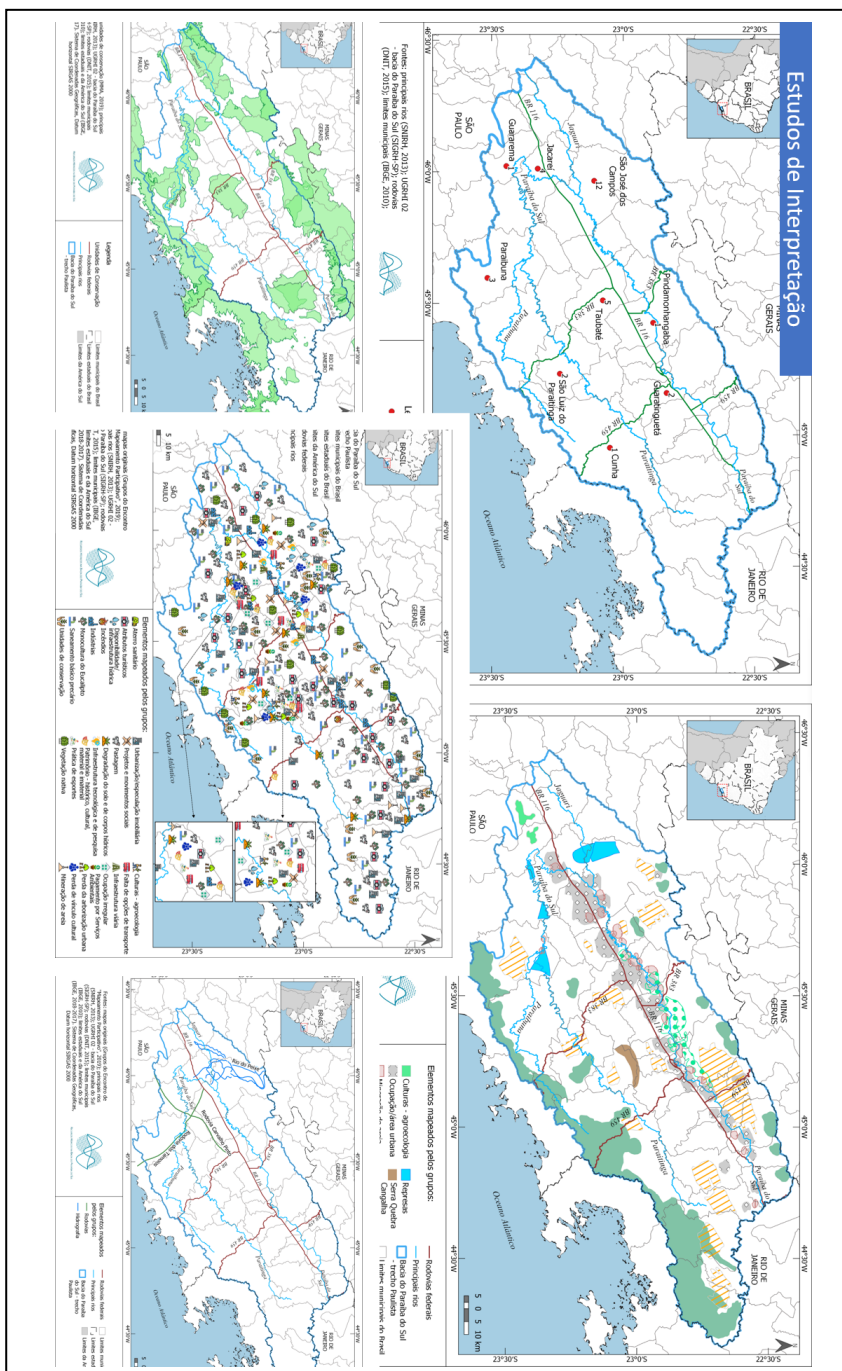


Figura 7. Mapas consolidados a partir do processo de cartografia social para o trecho paulista da bacia do PS.

O processo de construção de cenários foi realizado a começar da abordagem dos três horizontes (3H). Com base nas experiências vivenciadas pelo grupo até o momento de construção dos cenários, foram definidos participativamente dois temas principais para o exercício de cenários: políticas públicas de educação ambiental e acesso à recursos hídricos. O processo gerou narrativas de caminhos possíveis de desenvolvimento dos futuros desejados. O processo foi concluído com a emissão de 19 certificados para os participantes que atingiram o nível de assiduidade considerado mínimo, e está sendo finalizado a partir de uma abordagem de sistematização de experiências, a partir de uma comissão de sistematização composta pelos membros com 100% de participação na pesquisa.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Foram concluídas 4 dissertações de mestrado, 6 teses de doutorado, treinamento de 7 Pós-Doutorado além de 6 monografias de iniciação científica. Em relação à produção científica e tecnológica foram 8 artigos científicos publicados em revistas científicas, 3 Anais de congressos e 4 relatórios pesquisa.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

ROSELI DE FREITAS ÁVILA. Percepção ambiental e a formação de agentes educadores para o planejamento participativo em recursos hídricos: um estudo na Bacia do Rio Paraíba do Sul – UNIVAP.

<https://biblioteca.univap.br//dados//00004f/00004fa6.pdf>

GABRIELA CANINDÉ RODRIGUES SILVA. Governança multinível na gestão da água: o caso da transposição do Reservatório Jaguari ao Sistema Cantareira (MG-RJ-SP) – USP.

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-18072023-164311/pt-br.php>

MARCELO CARDOSO DA SILVA BANDORIA, Dinâmicas de regeneração florestal na Mata Atlântica: integração de dados multi-sensores e medidas de campo – PGCST/INPE.

<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/05.06.20.54>

FELÍCIO CASSALHO, Modelagem hidrológica de grande escala aplicada à bacia hidrográfica do Paraíba do Sul. PGCST/INPE.

<http://mtc-m21c.sid.inpe.br/>

DOUTORADO

ALEXANDRE RODRIGUES MARQUES, Governança adaptativa dos recursos hídricos do Vale do Paraíba Paulista: rede de atores e estratégias políticas de adaptação às mudanças climáticas – PGCST/INPE.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34R/42C3CCB>

EDVALDO GONÇALVES DE AMORIM, A proteção dos mananciais de água a partir da propriedade rural e o seu papel na governança ambiental: estudo de caso na APA Estadual de São Francisco Xavier – UNIVAP.

<https://biblioteca.univap.br//dados//000061/000061f8.pdf>

MAÍRA SIMÕES CUCIO, Governança multinível e interações entre usos múltiplos da água: o caso da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul – UNICAMP. (2024).

OSCARINA TEODORA PRADO SANTOS SILVA, Percepções de Pequenos Produtores aos Impactos das Mudanças de Uso e Cobertura do Solo nos Serviços Ecossistêmicos de Microbacias no Município de Paraibuna: 1985 – 2020. – UNIVAP. (2025).

CLEBER ASSIS DOS SANTOS, Variabilidade espacial e temporal da razão isotópica da precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul – PGCST/INPE.

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/46TE7PP>

DIONE JUDITE VENTURA. (2024)

PÓS-DOUTORADO

MARIANA GUTIERRES ARTEIRO DA PAZ, Pesquisa de Percepção Ambiental dos Moradores da bacia do rio Paraíba do Sul, trecho Paulista e Cenários Participativos.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGPDW34P/43U8Q5E>

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34R/42QG9LE>

VIVIAN FRÓES RENNO, Avaliação das alterações na cobertura de turfa na região do rio Paraíba do Sul e seus impactos na qualidade e provisão de serviços ecossistêmicos à população local.

REINALDO RODRIGO NOVO. Instalação e manutenção de Estação Experimental Ecohidrológica em área de regeneração florestal da Mata Atlântica

MAURO BRUM MONTEIRO JUNIOR. Comparação das taxas de transpiração entre espécies vegetais nativas e exóticas em área de regeneração da Mata Atlântica

FERNANDA DE VASCONCELLOS BARROS. Avaliação da diversidade de funções hidrológicas ao longo de um gradiente de regeneração na Mata Atlântica

BRENO PUPIN. Seleção de indicadores de qualidade do solo relacionados à produtividade vegetal em diferentes áreas de reflorestamento

MÁRCIO MALAFAIA FILHO. Modelagem hidrológica ao longo de um gradiente de regeneração da Mata Atlântica

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

DENISE PEREIRA DE FREITAS. Gerenciamento adaptativo no planejamento de recursos hídricos: avaliação do PIRH – Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia do Paraíba do Sul.
<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47NLKSE>

FERNANDA NARESSI GRANDINETTI. Refinamento de classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Paraíba do Sul para os anos 2000, 2010 e 2018.
<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/45U8NSB>

MARIA AUXILIADORA MACHADO. Diagnóstico socioambiental e cenários participativos para recursos hídricos na bacia do Paraíba do Sul.
<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34R/443HHJH>

MARIANE HERNANDES SEREZINE. Mapeamento e ocupação do solo a partir da base de dados do Cadastro Ambiental Rural – CAR na bacia do rio do Peixe, para avaliação da proteção dos recursos hídricos.
<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47PB8H2>

BRUNO GUERREIRO MIRANDA. Variabilidade climática e recursos hídricos na Bacia do rio Paraíba do Sul.

MARCELO MOURA FERNANDES. Produção de Serrapilheira e Crescimento do Tronco em fragmentos de floresta da Mata Atlântica em diferentes estágios de regeneração.

PCI/INPE

SERGIO MANTOVANI PAIVA PULICE. Análise de redes para avaliação de problemas socioambientais complexos - governança na bacia do Rio Paraíba do Sul.

JOCILENE DANTAS. Uso da Cartografia Social para Análise da Percepção Socioambiental na bacia do Paraíba do Sul.

DIONE JUDITE VENTURA. Instalação de Estação Experimental Ecohidrológica em gradientes de regeneração florestal da Mata Atlântica

SERVIÇOS DE TERCEIROS

MARIA TEREZA MOREIRA ROMAN. Sistematização de Experiência do Processo formativo “Cenários para recursos hídricos na bacia do Paraíba do Sul a partir da Educação Ambiental”.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

MARQUES, A.R.; TONIOLO, M.A.; LAHSEN, M.H.; PULICE, S.M.P.; BRANCO, E.A.; ALVES, D.S. Water governance in Vale do Paraíba Paulista: network of actors and socioecological systems. *Ambiente e Sociedade*, v. 23. e01381, 2020.

<http://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190139r1vu2020l2de>

DE AMORIM, E. G; TONIOLO, M. A.; ZANETTI, V. R.; GOMES, C. Função pública de interesse comum e recursos hídricos: territórios produtores de água na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, SP. *REVISTA DE GEOGRAFIA*, v. 39, p. 329, 2022.

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/253687>

ÁVILA, R. F.; TONIOLO, M. A.; MACIEL, L.; BRANCO, E. A. Avaliação de um processo de coprodução de conhecimento e engajamento de atores a partir de ferramentas da Educação Ambiental: práxis e ciência cidadã. *REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL (ONLINE)*, v. 17, p. 371-391, 2022.

<https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/12969>

MACHADO, M. A.; PAZ, M. G. A.; BARROS, J. D.; BRANCO, E. A. Esgotamento sanitário no território da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - trecho paulista. *Eng Urb em Debate*, v. 2, n. 1, p. 249-265, 2021.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/45SNGUB>

SANTOS, C. A.; CARNEIRO, R.; BORGES, C.; GASTMANS, D.; BORMA, L. S. Isotopic Composition of Precipitation in a Southeastern Region of Brazil during the Action of the South Atlantic Convergence Zone. *Atmosphere*, v. 12, p. 418, 2021.

<https://www.mdpi.com/2073-4433/12/4/418>

MONTEIRO JR, M. B.; VOGT, N. D.; BARROS, F. V.; NOVO, R. R.; VENTURA, D. J.; BANDORIA, M.; LORZA, R.; TONIOLO, M. A.; ARCOVERDE, G. B. A.; ROCHELE, A. L. C.; SANTOS, C.; BORMA, L. S. Ecohydrological implications of *Pteroma pulchrum* dominance in forest regeneration: local ranchers' perceptions and implications for restoration in southern Brazil. (Ecohydrology & Hydrobiology).

BORMA, L. S.; SAKAGUSHI, F.; DEMETRIO, W.; PUPIN, B.; NOVO, R. R.; VENTURA, D.; LORZA, R. (2023) Tropical humid forests: water consumers or producers? The case of a forest fragment in the Atlantic Forest.

BORMA, L. S.; COSTA, M. H.; ROCHA, H. R.; ARIEIRA, J.; NASCIMENTO, N. C. C.; JARAMILO-GIRALDO, C.; AMBROSIO, G.; CARNEIRO, R. G.; VENZON, M.; NETO, A. F.; VAN DER HOFF, R.; OLIVEIRA, B. F.A.; RAJÃO, R.; AND NOBRE, C. A. (2022) Beyond Carbon: The Contributions of South American Tropical Humid and Subhumid Forests to Ecosystem Services. *Reviews of Geophysics*, 60(4). DOI: 10.1029/2021RG000766

ANAIS DE CONGRESSOS

SILVA, G. C. R. A Gestão Integrada e Governança de Recursos Hídricos: uma revisão e a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (ainda mais) sob conflito. *In: IX ENANPPAS*, 2019, Brasília - DF. **ANAIS Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade - IX ENANPPAS**, 2019.

BAIÃO, C. F. P.; *et al.* Percepção ambiental dos moradores da Bacia do Rio Paraíba do Sul. *In: SIMPÓSIO DA PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE, 9. (SPGCST)*, 2020, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Anais... São José dos Campos: INPE, 2020. On-line. ISBN 978-65-00-12958-8.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGPDW34P/43U8Q5E>

PAZ, M. G. A.; BRANCO, E. A.; RAYMUNDO, M. H. A. Cenários ambientais participativos como ferramenta de gestão de recursos hídricos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 23. Foz do Iguaçu, PR. **Anais... 2019**. ISSN 2318-0358.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W/3UHCQ5S>

RELATÓRIOS DE PESQUISA

FREITAS, D. P.; BRANCO, E. A. Gerenciamento adaptativo no planejamento de recursos hídricos: avaliação do PIRH – Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia do Paraíba do Sul. São José dos Campos: INPE, 2022. 41 p. Bolsa PIBIC/PIBITI/INPE/CNPq.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47NLK5E>

GRANDINETTI, F. N.; ARCOVERDE, G. F. B. Avaliação de classificações de uso e cobertura da terra por imagens de satélite. São José dos Campos: INPE, 2021. 34 p. Bolsa PIBIC/PIBITI/INPE/CNPq.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/45U8NSB>

MACHADO, M. A.; BRANCO, E. A.; PAZ, M. G. A. Projeto: 800353/2018-8 - diagnóstico socioambiental e cenários participativos para recursos hídricos na bacia do Paraíba do Sul. São José dos Campos: INPE, 2020. 36 p. Bolsa PIBIC/INPE/CNPq.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34R/443HHJH>

SEREZINE, M. H.; ALBIACH, E.; AMORIM, E. G. Mapeamento do uso e ocupação do solo a partir da base de dados do Cadastro Ambiental Rural - CAR na Bacia do Rio do Peixe, para avaliação da proteção dos recursos hídricos. São José dos Campos: INPE, 2021. 20 p. Bolsa PIBIC/PIBITI/INPE/CNPq.

<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47PB8H2>

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

No que se refere às perspectivas de mudança na disponibilidade hídrica da bacia, nos últimos 30 anos, apesar de não haver ocorrido variabilidade substancial nos índices de chuvas anuais, a maior parte das sub-bacias que compõem a BHRPS sofreu diminuição nas vazões médias/ano. Isso indica que, mais do que as mudanças climáticas, alterações no uso e cobertura da terra, associadas a um aumento populacional seguido de aumento no consumo de água seriam os principais fatores impactantes da disponibilidade hídrica no trecho paulista da BHRPS.

Projeções climáticas futuras, a partir de modelos globais de clima, indicam leve aumento das chuvas até 2040, e uma diminuição das chuvas até 2100. Modelos regionais de clima também apontam para uma tendência semelhante, porém com aumento de temperatura para toda a bacia. No entanto, a despeito de não haver projeções de mudanças climáticas significativas, eventos extremos de seca e de cheia atingem a BHRPS, promovendo impactos na disponibilidade hídrica ou gerando inundações catastróficas.

A análise dos resultados experimentais mostrou que a infiltração da água de chuva é significativamente maior nas áreas de floresta em regeneração (independentemente do estágio em que se encontram) do que nas áreas de pasto. Esse é um aspecto interessante para a gestão de recursos hídricos, tendo em vista que

a BHRPS é uma das áreas prioritárias para recuperação e regeneração das florestas de Mata Atlântica, com vistas à manutenção e recuperação dos serviços de regulação hídrica e climática.

Análises das condições dos pastos na bacia mostram que as áreas de pasto abandonadas e em recuperação apresentaram um leve aumento em relação às áreas de pasto degradado, o que pode ser reflexo dos incentivos à destinação dessas áreas para recuperação florestal. Em termos da análise da gestão dos recursos hídricos, observa-se que os recursos hídricos, na BHRPS, são planejados e geridos com foco predominante na questão hídrica. É importante a interrelação entre a gestão da água e a gestão do território, uma vez que ficou demonstrado que, em casos de ausências expressivas de mudanças nos regimes de chuva, é a cobertura vegetal – floresta, pastagem ou áreas urbanas – que define a quantidade de água disponível nos períodos de estiagem. Por outro lado, como a maior parte do território é formada por pequenas propriedades rurais, é imprescindível o engajamento dos atores sociais no processo.

O processo conduzido para a bacia do Paraíba do Sul possibilitou a mobilização e o engajamento de um conjunto de atores sociais, a partir de um processo de ensino-aprendizagem. Tal processo foi baseado nas pedagogias da práxis e da alternância, como caminhos para a percepção, interpretação, problematização e proposição sobre as realidades socioambientais dos participantes. O processo pedagógico, para a construção de cenários, tem importância igual ou superior do que os próprios cenários e suas trajetórias. Materializa, dessa forma, uma intenção na prática científica, de propor e fomentar o pensamento crítico e emancipatório.

PERSPECTIVAS

Estamos em fase de análise, consolidação e de publicação dos resultados obtidos, para que esses possam ser avaliados pelos pares. Essa é uma etapa da pesquisa científica de fundamental importância para dar garantia e credibilidade científica à relevância do tema, métodos empregados, análises dos resultados e conclusões. A partir dessa ‘segurança científica’, a nossa proposta é retornar essas informações aos atores locais e à comunidade geral, de forma

a difundi-las o máximo possível, auxiliando, assim, com bases científicas sólidas, o processo de gestão hídrica na BHRPS. Para tanto, será reproduzida a metodologia de processos participativos para a governança das águas, realizada no início deste projeto, agora contando com apoio dos dados observacionais medidos in situ.

Em termos de observações dos processos ecohidrológicos in situ, as perspectivas são de manutenção do funcionamento da EEE-SFX e ampliação dessas instrumentações para outras áreas da bacia, de forma a ampliar nosso conhecimento sobre a influência do tipo de solo, declividade, uso e cobertura da terra na produção hídrica e, conseqüentemente, na gestão de recursos hídricos. Em termos de modelagem computacional para prognósticos futuros, as perspectivas são de utilizar os dados coletados in situ para alimentar os modelos hidrológicos e ecohidrológicos de base física, podendo, dessa forma, proceder uma modelagem prognóstica baseada em dados obtidos na área de interesse. Isso dará mais confiabilidade aos resultados dos modelos.

REFERÊNCIAS

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**: Relatório Pleno. Brasília - DF: [s.n.].

ARGUELLO, F. P. **Simulação hidrológica da bacia do rio Paraitinga para análise das potenciais causas do evento extremo de cheia e desastre ocorrido na passagem do ano de 2009/2010**. [s.l.] INPE, 2017.

BORMA, L. S.; *et al.* Hydrological characteristics related to peatland fire in the Paraíba do Sul River basin, in the State of São Paulo, Brazil. 1st Latin American Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. **Anais...** Rio de Janeiro: Anais do 1st Latin American SDEWES Conference, 2018

BORMA, L. S.; *et al.* Beyond Carbon: The Contributions of South American Tropical Humid and Subhumid Forests to Ecosystem Services. **Reviews of Geophysics**, v. 60, n. 4, 29 dez. 2022.

BORMA, L. S.; *et al.* Tropical humid forests: water consumers or producers? The case of a forest fragment in the Atlantic Forest. **in prep**, 2023.

CEIVAP. **Relatório de Situação - Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Resende, RJ: [s.n.].

CUCIO, M. S. **Relatório de qualificação de doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil**, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor. Campinas, 2018.

DEVIDE, A. C. P.; *et al.* História Ambiental do Vale do Paraíba Paulista, Brasil. **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 12–29, 2014.

FERREIRA, M. S. A “terceira” transposição de águas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul: um conflito federativo em meio à escassez hídrica. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, p. 7–34, 2015.

GUTIERREZ, J. M.; *et al.* **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.

MARENGO, J. A.; *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31–44, 2015.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. v1, p. 215–226, 2005.

MIRANDA, B. G. **Variabilidade climática e recursos hídricos na Bacia do Rio Paraíba do Sul - Livro de Resumos do SICINPE 2019**. São José dos Campos, SP: [s.n.].

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Adaptive Management for Water Resources Project Planning**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2004.

PAHL-WOSTL, C.; *et al.* Analyzing complex water governance regimes: the Management and Transition Framework. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 7, p. 571–581, nov. 2010.

PRODANOV, C. C.; De FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2a edição ed. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade FEEVALE, 2013.

**Disponibilidade hídrica e produção de
sedimentos em cenários
ambientais na bacia hidrográfica do
rio Teles Pires**

*Adilson Pacheco de Souza
Daniel Fonseca de Carvalho
Frederico Terra de Almeida
Teodorico Alves Sobrinho*

Esse projeto desenvolveu inúmeras ações para observar efeitos de mudanças na ocupação do solo na disponibilidade hídrica e na produção de sedimentos na região da bacia hidrográfica do rio Teles Pires, região amazônica do Estado de Mato Grosso. As ações foram por meio de modelos hidrológicos e de monitoramento contínuo em duas sub-bacias afluentes, do Rio Caiabi e do Rio Renato, nas regiões do Alto e Médio Teles Pires. Inicialmente, o projeto foi concebido para permitir a aplicação do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) na avaliação da disponibilidade hídrica e na avaliação do transporte de sedimentos. Nessas sub-bacias foram realizadas caracterizações físicas-hídricas dos solos nas diferentes coberturas vegetais, em conjunto com a avaliação da qualidade da água, monitoramento da disponibilidade hídrica e da produção de sedimentos e avaliação das perdas potenciais de água e solo em diferentes regiões e usos do solo. No rio Teles Pires, para melhorar o entendimento dessas relações, foi realizada a caracterização da dinâmica da ocupação do solo com agricultura, pecuária e florestas nativas, as situações de áreas de preservação e suas fragilidades ambientais, além de buscar alternativas para avaliação do transporte de sedimentos com suporte em monitoramentos orbitais.

Palavras-chave: monitoramento hidrológico; uso e ocupação do solo; erosão hídrica; modelagem hidrológica; transição Cerrado-Amazônia.

A bacia hidrográfica do rio Teles Pires apresenta importância socioeconômica e ambiental para o estado de Mato Grosso. O rio tem extensão total de 1.480 km, área de drenagem de 142.600 km², com nascente nas Serras Azul e Finca Faca, Paranatinga – MT e altitude de 800m e se desenvolveu no sentido SE-NW, em confluência com o rio Juruena e formação do rio Tapajós e altitude de 95 m.

Apesar de estar hidrologicamente situada na região amazônica, a bacia do Rio Teles Pires apresenta variações quanto à cobertura vegetal, com predomínio de formações savânicas do bioma Cerrado; florestas transicionais (contato entre floresta

ombrófila, floresta estacional e savana) e floresta tropical ombrófila (bioma Amazônico), nas regiões do Alto, Médio e Baixo Teles Pires, respectivamente (Figura 1). Essas mesmas regiões hidrológicas correspondem a 26,2; 57,7 e 16,1% da área da bacia do rio Teles Pires, com ocupação em torno de 45,9; 27,5 e 26,6% da população da bacia e são responsáveis por 66,3; 18,7 e 15,0% do PIB obtido na área do rio Teles Pires, respectivamente.

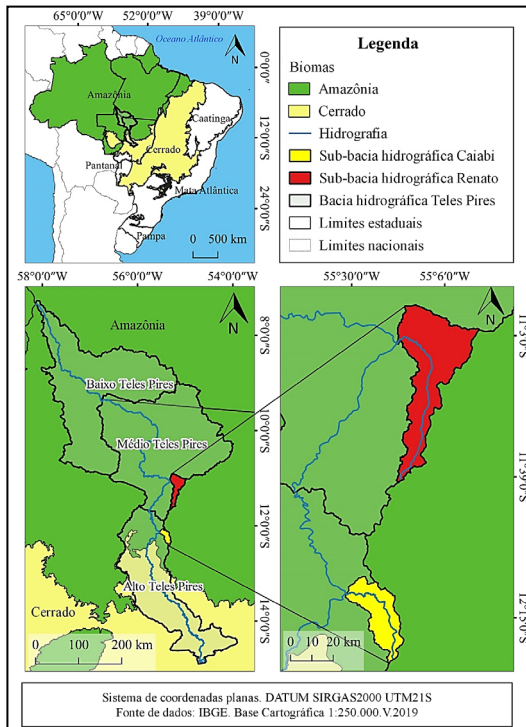


Figura 1. Sub-bacias hidrográficas dos rios Caiabi e Renato, afluentes do rio Teles Pires na transição Cerrado-Amazônia, Mato Grosso, Brasil.

Dados recentes do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) mostram crescimento populacional na região do Alto Teles Pires, tendo como exemplo as cidades de Sinop-MT (de 113.099 habitantes, em 2010, para 196.067, em 2022), Sorriso-MT (de 66.521 habitantes, em 2010, para 110.635, em 2022) e Lucas do Rio Verde-MT (de 45.556 habitantes, em 2010, para 83.798, em 2022). Nas outras regiões da bacia hidrográfica do rio Teles Pires, as taxas de crescimento populacional oscilam entre 10 e 40% no mesmo período. Essa condição também está associada ao crescimento econômico e agroindustrial da região. Todavia, também gera maiores demandas de água para usos vinculados ao abastecimento e no saneamento urbano, captação e diluição agroindustrial, lazer e recreação, pesca, mineração, irrigação, criações de animais, geração de energia, dentre outros.

Embora com considerável notoriedade agrícola, no contexto nacional e internacional, ainda são escassos os estudos que apresentem informações atuais sobre a dinâmica do uso e da cobertura do solo e suas influências na disponibilidade dos recursos hídricos, nas áreas de fronteira agrícola no Sul da Amazônia brasileira. Essas informações fornecem subsídios para a gestão dos recursos hídricos e do planejamento das atividades agropecuárias e de geração de energia, além das inúmeras aplicações ambientais.

Em um cenário futuro, apesar da alta disponibilidade hídrica superficial, vislumbra-se potencialidade para a geração de conflitos pelo uso da água. A região do Alto e do Médio Teles Pires, tem sua economia praticamente voltada ao agronegócio, e está entre os 16 principais polos nacional de irrigação por pivô central, com potencial de aumento da área irrigada, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016). Em maio de 2023, foi homologado, pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, a criação do Polo de Irrigação Sustentável do Médio Norte de Mato Grosso, que envolve 19 cidades da região do Alto Teles Pires.

Além da área irrigada, a bacia do rio Teles Pires conta com um complexo de geração de energia elétrica de, aproximadamente 3.600 MW (EPE, 2009), compreendido em seis (06) usinas hidrelétricas (EPE, 2009). Dentre os barramentos previstos, quatro já se encontram em operação, sendo: UHE Teles Pires, em Paranaíta-MT (1820 MW e área inundada de 150,0 km²), UHE Colíder (300 MW e área inundada de 171,7 km²), UHE São Manoel, em Paranaíta-MT (735,9 MW e área inundada de 66,0 km²) e UHE Sinop (401,9 MW e área de inunda-

ção de 337,0 km²). E, ainda, estão planejadas a UHE Magessi na região do Alto Teles Pires (53 MW) e a UHE Foz do Apiacás, na região do Baixo Teles Pires (275 MW). Esses dois usos majoritários requerem ainda mais conhecimentos quali-quantitativos sobre disponibilidade hídrica, previsão de eventos extremos, como secas e inundações, produção e transporte de sedimentos, dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes associados aos recursos hídricos.

A modelagem hidrológica em grandes bacias hidrográficas continua sendo um desafio e difere, em alguns aspectos, daquela associada às pequenas áreas de drenagem. Em grandes bacias, como a do rio Teles Pires, a alta variabilidade do relevo, do clima, da ocupação do solo e de suas características físico-hídricas requerem uma abordagem diferente, visto que é inviável a coleta dessas informações para toda a sua extensão, devido às limitações técnicas, econômicas e operacionais.

Ao longo da execução deste projeto, essa limitação foi potencializada em função da baixa densidade de bases de dados disponíveis na Rede Hidrometeorológica Nacional, e até mesmo pela baixa consistência dos dados para análises entre variáveis hidrológicas. Destaca-se, ainda, que a instalação dos barramentos hidroelétricos citados limita a aplicação de modelos e de cenários futuros, visto que ocorrem alterações nos padrões de vazões máximas, médias e mínimas, além da regulação de nível, em pontos a jusante.

Como saída para esse problema, a utilização de informações de bacias experimentais, que tenham características edafoclimáticas semelhantes às bacias de área maior, torna-se uma opção. A adoção de bacias experimentais, com a execução de campanhas regulares para obtenção de parâmetros hidrometeorológicos e do solo, favorece o entendimento do sistema e o desenvolvimento de metodologias, com o objetivo de realizar parametrizações físicas do modelo matemático e a transferência de informações entre bacias de diferentes escalas. Embora os estudos de modelagem hidrológica tenham ganhado força no Brasil, nos últimos anos, ainda existe carência de pesquisas para as diferentes condições dos biomas do país, com destaque especial para as regiões centro-norte do País, onde tais estudos são escassos ou mesmo inexistentes.

Pelo contexto da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires, a escassez de pesquisas e, conseqüentemente, de informações para a tomada de decisão compromete a

gestão sustentável da água e do solo em uma das principais regiões de expansão agrícola do país, que, porventura, apresenta sinais emitentes de conflitos de uso da água. Aliado a isso, na bacia do Rio Teles Pires a rede de estações climatológicas é pequena e espacialmente mal distribuída, o que compromete a realização de estudos de efeitos sinérgicos associados às vazões e ao transporte de sedimentos.

Neste estudo, estabelecemos duas sub-bacias hidrográficas do rio Teles Pires como referência (Figura 2), identificadas, como Rio Caiabi e Rio Renato, nas regiões do Alto e do Médio Teles Pires, respectivamente. Essas duas sub-bacias apresentam importância significativa para o contexto regional, pois estão situadas a montante e a jusante do primeiro barramento hidrelétrico regional do Rio Teles Pires, a UHE Sinop, com área de inundação de 342 km². Apresentam vegetações predominantes diferentes, visto que a área do Rio Renato se situa na Amazônica e a área do Rio Caiabi na transição Cerrado-Amazônia. E, por fim, o grau de antropização nas duas bacias é bem distinto, visto que, atualmente, na sub-bacia do Rio Caiabi predominam áreas com monocultivo, com a sucessão soja-milho, e na do Rio Renato, áreas com pastagens e matas nativas.

Estudos com recursos hídricos, clima, uso e ocupação e solos, são importantes aliados para conhecimento e suporte nas tomadas de decisão em ambientes frágeis, sobretudo, aqueles que passam por sucessivas transformações, como a fronteira agrícola no norte do Mato Grosso. No entanto, é desafiador realizar pesquisas multidisciplinares com os temas supracitados, devido à complexidade pedológica, edafológica, climática e hídrica dessa região. Além disso, a definição de áreas de estudos representativas deve ser cautelosa, pois precisa ser representativa para grandes áreas.

Nas duas sub-bacias hidrográficas, dos rios Caiabi e Renato, foram realizados diversos estudos que englobaram o monitoramento das vazões líquidas, com definições das curvas-chave, e do transporte de sedimentos, além do monitoramento da qualidade da água e a caracterização dos atributos físico-hídricos, como infiltração, classes de solo e estoques de carbono, associados com potenciais perdas de solo e água decorrentes da erosão hídrica.

No rio Teles Pires, estava prevista a aplicação do modelo SWAT para estimativas diárias das vazões e do transporte de sedimentos. Com a instalação das barragens de usinas hidrelétricas, na região, restringiram-se as análises de séries tem-

porais contínuas e futuras, ao longo da calha principal do rio Teles Pires. Dessa forma, foram calibrados os parâmetros do modelo SWAT em áreas representativas do Alto Teles Pires, além de realizar a caracterização da dinâmica de usos e cobertura da terra e quantificar a conformidade das áreas ciliares, na bacia hidrográfica.

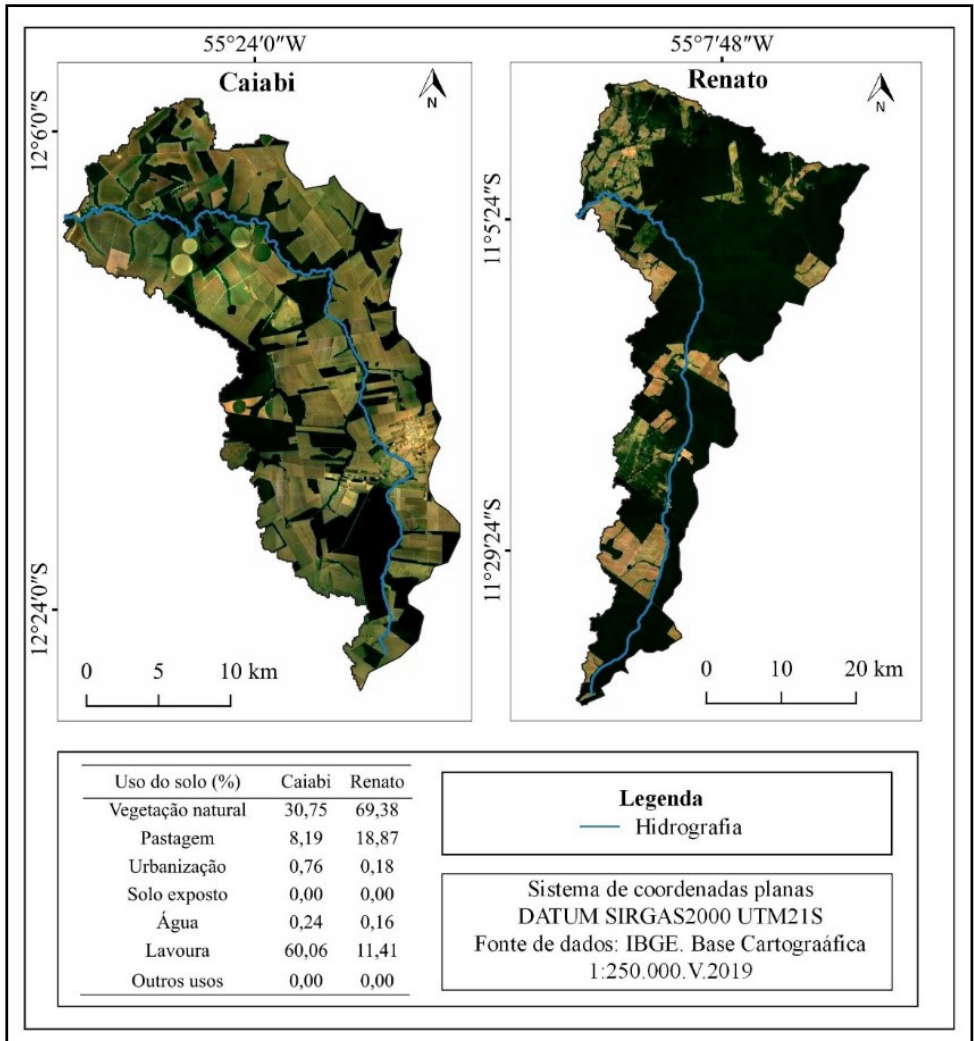


Figura 2. Principais usos do solo das sub-bacias hidrográficas do rio Teles Pires na transição Cerrado-Amazônia, Mato Grosso, Brasil. **Fonte:** Usos do solo (MAPBIOMAS, 2021).

Pelas dificuldades encontradas com as bases de dados de sedimentos da RHN, buscou-se gerar produtos de sensoriamento remoto orbital e não-tripulado que permitam avaliar parâmetros qualitativos da água. Com a compreensão desses processos hidrológicos, geomorfológicos e de uso e de cobertura da terra, espera-se gerar informações e produtos consistentes que subsidiem a gestão e conservação da água e do solo, bem como, a implantação sustentável de projetos hidrográficos, ambientais e industriais.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar se há impacto de mudanças na cobertura florestal (ocupação do solo) sobre a disponibilidade hídrica e sobre a produção de sedimentos em bacias hidrográficas da transição Cerrado-Amazônia: estudo de caso da bacia do Rio Teles Pires, estado de Mato Grosso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Realizar caracterização física e hidrológica dos solos com diferentes tipos de cobertura vegetal em duas sub-bacias hidrográficas do Rio Teles Pires;
- II. Avaliar a qualidade da água em diferentes pontos na bacia hidrográfica de referência;
- III. Caracterizar a dinâmica da ocupação do solo na bacia hidrográfica, no período de 1980 a 2016, e verificar a situação atual das áreas de preservação permanente (APPs);
- IV. Estimar vazões na bacia hidrográfica de referência a partir da calibração e validação do modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT);

- v. Estimar o impacto das mudanças na ocupação do solo sobre a produção de sedimentos na bacia de referência;
- vi. Estimar o impacto dos cenários de mudanças climáticas globais sobre a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica de referência.

IMPACTOS

Os impactos do projeto foram organizados considerando as seguintes abordagens: formação de recursos humanos e produção científica e tecnológica e avanço do estado da arte e da gestão de recursos hídricos na área de abrangência do projeto.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

A formação de recursos humanos e a produção científica e tecnológica, com a execução do projeto, superou ao planejamento inicial, pelos engajamentos de diversos atores no processo. Foram concluídas 5 dissertações de mestrado, 3 teses de doutorado, treinamento de 2 pós-doutores além de 12 monografias de iniciação científica. Em relação à produção científica e tecnológica, foram 11 artigos científicos publicados e 8 artigos científicos submetidos ou a submeter.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

ALINE KRAESKI. Conversão de áreas e impactos antrópicos na bacia hidrográfica do Rio Teles Pires.

<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202021/Db3ca8c35920da778dc44f54a4fd274797a5d7bd9.pdf>

FRANCIELLI ALOISIO MORATELLI. Caracterização físico-hídrica do solo em duas sub-bacias hidrográficas do rio Teles Pires, Sul da Amazônia brasileira

<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202021/D05f9463e7f1c83fc1b611635587e921edfb02f73.pdf>

EVELLYNN SATO SIRQUEIRA. Monitoramento de transporte de sedimento e avaliação de perdas de solo em uma microbacia no ecótono Cerrado-Amazônia

<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/>

Dde43ad94a5bb638160c3043b124d944c299500d6.pdf

JONES ANSCHAU XAVIER DE OLIVEIRA. Determinação da erodibilidade em diferentes posições topográficas e tipos de uso do solo nas sub-bacias dos rios Renato e Caiabi-MT

<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202022/>

De4f5426615a2858b8dd770063147c11acc5df642.pdf

RHAVEL SALVIANO DIAS PAULISTA. Modelos de estimativa da concentração de sedimentos suspensos via sensoriamento remoto para o rio Teles Pires

<https://cms.ufmt.br/files/galleries/95/Disserta%C3%A7%C3%B5es%202023/>

Daaddb0a7a2cc0aa85cea9fe94b4b1de3c992d8a3.pdf

DOCTORADO

DANIELA ROBERTA BORELLA. Vazões líquidas e sólidas em bacias hidrográficas sob diferentes cenários ambientais no sul da Amazônia. UFMT. 2023

<https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/dissertacoes-e-teses/teses>

MARCO AURÉLIO BARBOSA ALVES. Erosão hídrica, infiltração de água no solo e estoque de carbono em áreas de transição Cerrado-Amazônia, com diferentes usos e cobertura. UFRRJ. 2023

DIEGO ADANIA ZANONI. Modelos hidrológicos para estimativa de vazões e impacto de mudanças na ocupação do solo sobre a disponibilidade hídrica. UFMS. 2023

PÓS-DOCTORADO

ALEXANDER CLARO GARCIA

GLAUBER ALTRÃO CARVALHO

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ANDRESSA PAIVA SOUSA; APOLIANO FRANCISCO DA SILVA; FERNANDA DO AMARAL LIMA; GUILHERME FERNANDES SANCHES; GUILHERME MODESTO SANTANA; HENRIQUE FERNANDES DE OLIVEIRA; HERCULIS NOGUEIRA; JAIME WENDELEY DA SILVA ARAÚJO; LARISSA GABRIELA PORTILIOTTI DE PAULA; RAFAEL DE JESUS DOS SANTOS; RAFAELA ROCHA PEREIRA; WEVERTON LOURENÇO PACHECO DE OLIVEIRA.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

KRAESKI, A.; ALMEIDA, F. T.; CARVALHO, T. M.; SOUZA, A. P. Identification of land use conflicts in Permanent Preservation Area in a Brazilian Amazon sub-basin. *Sociedade & Natureza*, v. 35, p. e65951, 2023.

<https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-65724>

KRAESKI, A.; DE ALMEIDA, F. T.; DE SOUZA, A. P.; DE CARVALHO, T. M.; DE ABREU, D. C.; HOSHIDE, A. K.; ZOLIN, C. A. Land Use Changes in the Teles Pires River Basin's Amazon and Cerrado Biomes, Brazil, 1986-2020. *Sustainability*, v. 15, p. 4611, 2023.

<https://doi.org/10.3390/su15054611>

PAULISTA, R. S. D.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P.; HOSHIDE, A. K.; DE ABREU, D. C.; ARAUJO, J. W. S.; MARTIM, C. C. Estimating suspended sediment concentration using remote sensing for the Teles Pires River, Brazil. *Sustainability*, v. 15, p. e7094, 2023.

<https://doi.org/10.3390/su15097049>

ALVES, M. A. B.; SOUZA, A. P.; ALMEIDA, F. T.; HOSHIDE, A. K.; ARAUJO, H. B.; SILVA, A. F.; CARVALHO, D. F. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment. *Sustainability*, v. 15, p. 4954-4054, 2023.

<https://doi.org/10.3390/su15064954>

BORELLA, D. R.; DE SOUZA, A. P.; DE ALMEIDA, F. T.; DE ABREU, D. C.; HOSHIDE, A. K.; CARVALHO, G. A.; PEREIRA, R. R.; DA SILVA, A. F. Dynamics of sediment transport in the Teles Pires River Basin in the Cerrado-Amazon, Brazil. *Sustainability*, v. 14, p. 16050, 2022.

<https://doi.org/10.3390/su142316050>

SIRQUEIRA, E. S.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P.; ARAÚJO, H. B.; ZOLIN, C. A.; PAULISTA, R. S. D. Avaliação das perdas de solo pela MUSLE na microbacia do rio Caiabi. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, p. 2430-2447, 2022.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2430-2447>

ALVES, M. A. B.; BORELLA, D. R.; SILVA LUZ, C. C.; CASTAGNA, D.; SILVA, W. C.; SILVA, A. F.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P. Classes de solos nas bacias hidrográficas dos rios Caiabi e Renato, afluentes do rio Teles Pires, no Sul da Amazônia. *Nativa*, v. 10, p. 431-348, 2022.

<http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v10i3.14192>

SIRQUEIRA, E. S.; ALMEIDA, F. T.; ARAÚJO, H. B.; ZOLIN, C. A.; CARVALHO, G. A.; PAULISTA, R. S. D.; SILVA, A. F.; BORELLA, D. R. Vazão líquida, sedimentos em suspensão e turbidez na microbacia do rio Caiabi, no ecótono Cerrado-Amazônia. *Nativa*, v. 10, p. 525-532, 2022.

<http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v10i4.13961>

SIMÕES, J. M.; ALMEIDA, F. T.; ULIANA, E. M.; VENDRUSCULO, L. G. Uso de sensoriamento remoto no monitoramento de sólidos em suspensão do reservatório de uma usina hidrelétrica na transição Cerrado-Amazônia. *Gaia Scientia*, v. 15, p. 69-88, 2021.

<https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2021v15n3.57559>

SIMIONI, C. F.; ALMEIDA, F. T.; ZOLIN, C. A.; ULIANA, E. M.; SOUZA, A. P.; MARQUES, A. Solid discharge in a microbasin of the amazon region. *Ciência e Natureza*, v. 43, p. e73, 2021.

<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/64223>

LOPES, T. R.; ZOLIN, C. A.; MINGOTI, R.; VENDRUSCULO, L. G.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P.; OLIVEIRA, R. F.; PAULINO, J.; ULIANA, E. M. Hydrological regime, water availability and land use/land cover change impact on the water balance in a large agriculture basin in the Southern Brazilian Amazon. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 108, p. 103224, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103224>

ARTIGOS CIENTÍFICOS SUBMETIDOS E A SUBMETER

Effects of land use on soil physical attributes in two watersheds in the Southern Amazon, Brazil. (Soil Systems, 2023).

Morphometry, water availability and sediment transport in the river Renato watershed, Southern Amazon. (Revista Brasileira de Geografia Física, 2023).

Flow measurement methods in tributaries of the Teles Pires river, Cerrado-Amazon transition. (Hydrology, 2023).

Determining of soil erodibility by different methodologies in the Cerrado-Amazon ecotone sub-basins. (Soil Systems, 2023).

Water infiltration in different coverages and soil management in the Cerrado-Amazon ecotone, using a rain simulator.

Carbon content in different uses and soil cover in two watersheds in the Southern Amazon, Brazil Cerrado-Amazon transition areas.

Surface water quality in two sub-basins of the Teles Pires River, Southern Amazon, as a function of the regional climate.

Estimativa de vazões e impacto de mudanças na ocupação do solo sobre a disponibilidade hídrica no ecótono Cerrado-Amazônia.

AVANÇO DO ESTADO DA ARTE E DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO

O projeto desenvolvido pode ser considerado como um precursor de pesquisas hidrológicas na região, visto que, anteriormente, eram realizados estudos pontuais em algumas bacias hidrográficas. O engajamento de atores multidisciplinares no projeto permitiu muito aprendizado e resultados à equipe de execução e para os recursos humanos formados. Os resultados servirão de base para técnicos, produtores agrícolas e pecuaristas no que diz respeito ao planejamento e para manter a capacidade produtiva das áreas agricultáveis da região.

Além disso, com essas informações, políticas públicas ambientais e econômicas podem ser adotadas pelos órgãos de extensão dos municípios que compreendem a região de estudo, pois mais importante que diagnosticar fatores e as componentes hidrológicas na região é alcançar os agentes produtivos, como técnicos e produtores, com informações para que práticas conservacionistas sejam adotadas visando à conservação dos recursos naturais (água e solo).

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

QUANTO AO “MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO E SEDIMENTOLÓGICO”

A escassez de informações hidrossedimentológicas e fisiográficas das duas sub-bacia hidrográficas estudadas, rios Caiabi e Renato, afluente do rio Teles Pires, motivou a realização de estudos sobre a dinâmica dos processos hidrossedimentológicos e a construção de curvas-chave líquidas e sólidas, por meio do monitoramento contínuo dessas sub-bacias. É importante relatar algumas dificuldades e limitações encontradas no início e ao longo das atividades de campo, durante a vigência do projeto, como escolha das seções transversais representativas, distância e logística, equipamentos, transmissão e coleta de dados.

As curvas-chave líquidas e sólidas foram ajustadas para cada seção transversal hidrológica, testando diferentes modelos matemáticos de regressão (linear, polinomial, potencial e exponencial) sob condições de dados restritos. Ambos os rios são cursos d'água natural, perenes e com pequena área de drenagem, as seções transversais apresentam leito e margens estáveis, com fluxo de escoamento contínuo e unidirecional e com baixas variações no volume de água escoado e no transporte de sedimentos entre as estações hídricas regional (estações seca e chuvosa). Essas sub-bacias apresentam densidade de drenagem regular, com forma alongada e com baixa probabilidade de ocorrência de inundações/enchentes durante o período chuvoso. Os rios principais são mais sinuosos à medida que se aproxima da foz, isso ocorre devido o relevo ser mais ondulado na região do exultório do rio.

Os modelos de regressão (linear, polinomial, potencial e exponencial) ajustados para as curvas-chave líquidas das seções transversais apresentaram boas correlações com desempenho estatístico satisfatório. Isso significa que qualquer um desses modelos de regressão testado podem ser aplicados para o ajuste de curva-chave líquida em rios perenes com pequena área de drenagem, com fluxo regular e encaixado na calha do rio, com leito e margem estáveis, com baixa variação do nível d'água e do fluxo de escoamento ao longo do ano.

Quanto aos ajustes das curvas-chave sólidas de sedimentos em suspensão e total, houve baixa correlação entre as vazões líquida e sólidas. Esse fato pode ser justificado pelo baixo número de amostragem de sedimentos, com pouco mais de um ano, de dados e pela baixa variação na produção e transporte de sedimentos desse rio. Essas correlações podem ser melhoradas com a continuidade do monitoramento hidrossedimentológico, com foco principalmente na amostragem de sedimentos em suspensão, e, assim, poder novamente ajustar as curvas-chave sólidas com os mesmos e outros modelos de regressão ainda não testados.

Dessa forma, ainda há necessidade de continuar com o monitoramento hidrossedimentológico nas duas sub-bacias, pois a formação de séries históricas de dados de vazão líquida e sólida permitem maior segurança estatística nas curvas-chave ajustadas e na construção de base de dados consistente e de qualidade que permitem quantificar a disponibilidade hídrica superficial na bacia para os

diferentes usos, além de permitir fazer previsões de eventos extremos relacionadas às mudanças climáticas e de uso e cobertura do solo.

Além disso, o monitoramento contínuo da turbidez, e consequentemente, da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}), associados a turbidímetros ainda necessitam de avanços quanto a calibração, local de amostragem nas seções transversais, dentre outras definições.

QUANTO À CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E POTENCIAIS PRODUÇÕES DE SEDIMENTOS NAS SUB-BACIAS

O uso e a ocupação do solo afetam significativamente os seus atributos físico-hídricos do solo, sendo que nas duas sub-bacias hidrográficas, solos sob áreas antropizadas apresentaram maiores níveis de degradação da qualidade físico-hídrica quando comparado com áreas de mata nativa, com redução principalmente da macroporosidade. Na sub-bacia do rio Caiabi, os maiores valores de condutividade hidráulica foram observados em áreas de mata nativa. Notamos aumento da densidade do solo e em áreas de lavoura e pastagem, indicando que os manejos culturais adotados nos sistemas de produção agropecuários convencionais podem contribuir para a compactação do solo, redução da infiltração da água e aumento do escoamento superficial, e consequentemente acelerar processos erosivos.

Observamos a ocorrência de variações significativas dos atributos físico-hídricos e dos teores de carbono no solo em função da região da sub-bacia hidrográfica, com predominância de solos mais arenosos nas regiões dos exutórios, sendo necessário considerar essas variações em modelagens hidrológicas. A compatibilidade dos solos classificados em campo com dados disponibilizados pelo IBGE foi de 95%, na ordem, 38%, na subordem, 95%, nos grandes grupos e 88%, nos subgrupos. Tais constatações indicam que as bases de solos do IBGE podem ser usadas com segurança na modelagem hidrológica.

Pelas perdas de solo com as chuvas simuladas, foi possível determinar e validar o fator erodibilidade (fator K) da equação universal de perda de solos (USLE), além de comparar com outras metodologias indiretas de obtenção vin-

culados a atributos físicos e químicos do solo, em camadas superficiais. Esses resultados também indicaram que as atividades antrópicas aceleraram os processos de erosão na região e que as maiores perdas de solo ocorrem, principalmente sob o regime de lavouras seguido de pastagens, provavelmente pelo maior revolvimento dos solos na agricultura. A região central da sub-bacia do rio Renato já apresenta grau acentuado de solo erodido e merece maior atenção.

QUANTO A QUALIDADE DA ÁGUA

As avaliações da qualidade superficial das águas nas duas sub-bacias, que permitiram a determinação do IQA, foram realizadas bimestralmente. Foram escolhidos seis pontos de coleta na calha principal do rio Renato e, outros dois pontos em afluentes do rio. Os resultados para o IQA mostraram que as águas das duas sub-bacias apresentam primordialmente boa e ótima qualidade. Apesar dessas classificações para o IQA, observamos que alguns parâmetros que compõem o índice apresentaram não conformidade com o seu enquadramento, Classe II, definidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

As alterações desses parâmetros podem ser decorrentes do uso e da ocupação de solo próximos aos canais dos rios, como habitação improvisada e nascente impactada. Não foram observados valores significativos de metais nas águas superficiais das duas sub-bacias hidrográficas. Para o rio Caiabi, quando comparado com monitoramentos realizados anteriormente (2013 e 2016), não foram observadas alterações dos parâmetros. Todavia, destaca-se a existência de sazonalidade vinculada aos regimes de vazões mínimas e máximas.

AVANÇOS EM MEDIÇÕES DE VAZÃO LÍQUIDA PARA PEQUENOS RIOS

A obtenção da vazão líquida in loco ocorre a partir da medição da velocidade e do nível da água da seção transversal hidrológica, independentemente do método utilizado. Existem diferentes métodos de obtenção da vazão líquida in

loco, a escolha, porém, depende das características hidrodinâmicas e morfológicas das seções transversais de corpos d'água, além da disponibilidade, configurações do equipamento, da experiência e da formação técnica do operador. Nesse sentido e com o propósito de buscar a otimização de recursos operacionais, como tempo de medição, trabalho e equipe técnica de campo, foram comparadas medições in loco da disponibilidade hídrica superficial, ou seja, a vazão líquida, e profundidade dos rios Caiabi e Renato, pelo método de referência, o uso de molinete hidrométrico, e com o equipamento eletroacústico Perfilador de Corrente Acústico por Efeito Doppler (ADCP). Esses equipamentos atendem a distintas condições hidráulicas e geomorfológicas, apresentam diferenças metodológicas e no nível de detalhamento das informações obtidas na seção transversal, (Figura 3). Contudo, ambos os equipamentos fornecem medições com acurácia e limites de incerteza aceitáveis.

O molinete hidrométrico, por exemplo, realiza medições pontuais da velocidade da água por meio de pulsos eletromecânicos, suas limitações se concentram na maior demanda por tempo e equipe de campo, e restrição a velocidades e profundidades elevadas na seção. O modelo de ADCP é projetado para medir rios profundos e largos. Ele faz um mapeamento contínuo da velocidade da água por meio da velocidade e frequência de onda acústica emitida e refletida nas partículas sólidas em suspensão, que se deslocam na mesma velocidade da água. Suas principais limitações são não medir velocidade da água em profundidades $< 0,4$ m, em áreas marginais, de superfície e de fundo do corpo d'água, porém, o equipamento estima essas áreas não medidas.

As vazões líquidas obtidas pelos dois métodos foram semelhantes. Foi observado no levantamento batimétrico que quanto maior a profundidade da seção transversal mais próximas foram as medidas de profundidade obtidas pela batimetria entre a haste graduada e o ADCP. Em contrapartida, à medida que diminuía a profundidade na direção das margens da seção transversal diminuía também a precisão de medida pelo ADCP.

É interessante destacar que as campanhas de campo para coletas de dados hidrológicos demandam bastante tempo, pelas dificuldades de acesso e logística. As seções de monitoramento são distantes entre si, e algumas estradas de acesso são restritas por porteiras, pois estão localizadas em propriedades rurais

privadas. Diante dessas limitações, foi necessário testar a acurácia de medição do método alternativo, com o equipamento eletroacústico (ADCP), para obtenção de vazões líquidas em rios rasos e estreitos, com o objetivo de otimizar tempo de medição, redução do trabalho e da equipe de campo, facilitar a obtenção de dados com qualidade e segurança estatística, maior detalhamento das variáveis hidráulicas de cada seção transversal de monitoramento e, assim, possibilitar mais medições em outras seções na mesma campanha.

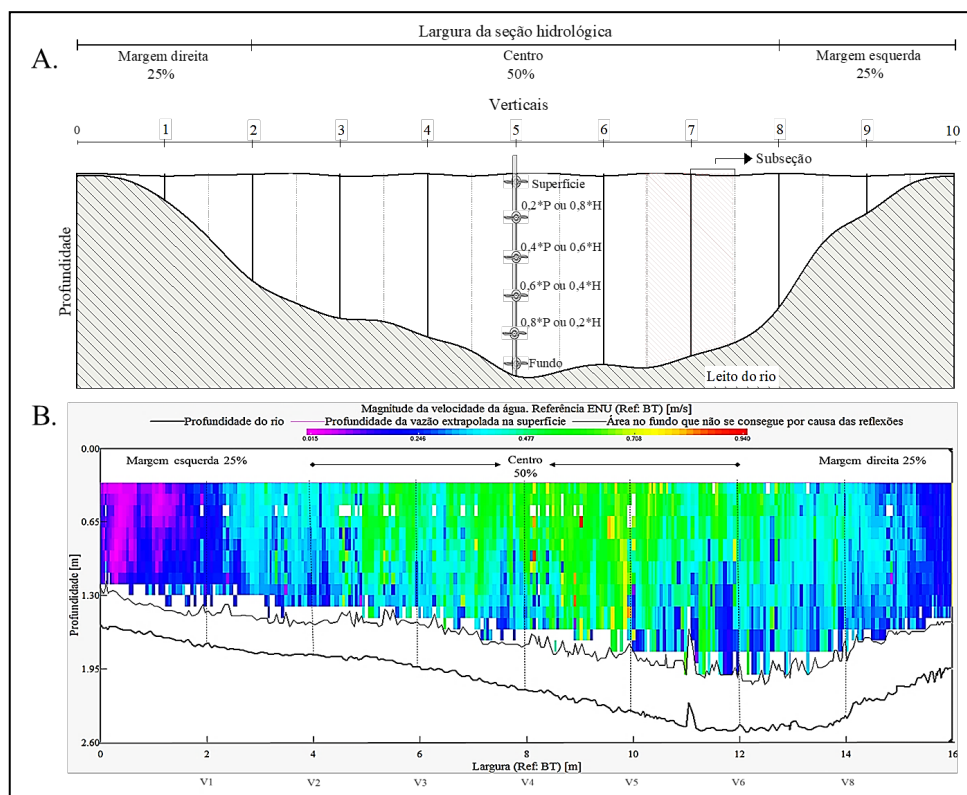


Figura 3. (A) Representação de uma seção transversal hipotética demonstrando a distância entre verticais, o número de verticais, assim como, a posição e número de pontos para as leituras de batimetria e vazão líquida de cada vertical pelo método referência. (B) Perfil transversal da velocidade da água de um transecto medido pelo ADCP identificando as margens e o centro da seção transversal.

Logo, podemos considerar o uso do ADCP para obtenção de vazão líquida em rios perenes que têm: pequenas áreas de drenagem, seções transversais com leito e margem estáveis, fluxo de escoamento contínuo e unidirecional e encaixado na calha do rio e poucas variações na velocidade e volume do fluxo de escoamento superficial ao longo da sazonalidade hídrica regional, como é o caso dos rios Caiabi e Renato. Contudo, esses dois métodos precisam ser avaliados em outros rios/córregos/igarapés pequenos da região Amazônica, com diferentes características hidráulicas e geomorfológicas, com o apoio e fomento das instituições de amparo à pesquisa.

AVANÇOS EM AMOSTRAGENS DE SEDIMENTOS

Ressalta-se que a determinação in loco da vazão sólida em suspensão é fundamental em função das variações sazonais do transporte de sedimentos. Dentre os métodos de amostragem, o de igual incremento de largura (IIL) é o mais utilizado para amostragem de sedimentos em suspensão, em função da sua simplicidade e de maior detalhamento hidrossedimentológico, na seção transversal. Esse método foi adotado para a coleta de sedimentos nas seções transversais dos rios Caiabi e Renato de quatro formas (Figura 4): amostragem por vertical (referência), amostragem composta (seção), amostragem na vertical padrão; amostragem em três verticais posicionadas nos percentis a 25 (1/4); 50 (1/2) e 75 % (3/4) da largura da seção transversal.

A amostragem de sedimentos em suspensão pode ser simplificada com segurança estatística. Ela permite a execução de campanhas de campo com equipe técnica reduzida, diminuição de custos com materiais para processamento em laboratório e, principalmente, otimização de tempo em campo e no laboratório, possibilitando que a equipe realize na mesma campanha coletas em maior número de seções transversais.

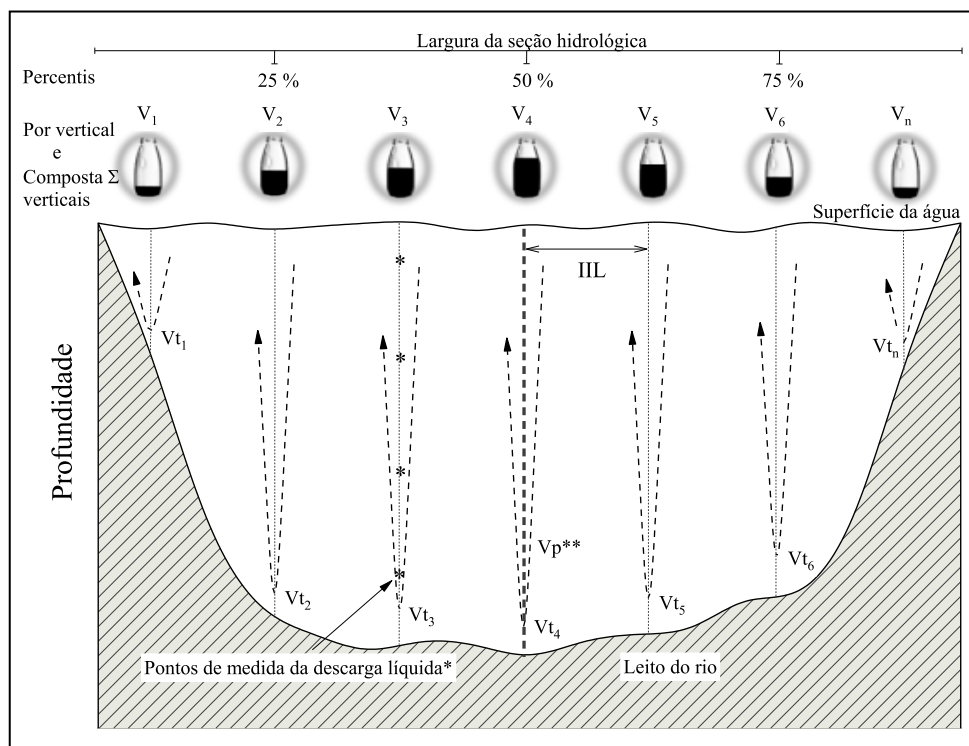


Figura 4. Representação de uma seção transversal hipotética demonstrando a amostragem de sedimentos em suspensão por integração pelo método do igual incremento de largura (IIL). * Pontos de medição da vazão com molinete fluviométrico, variando conforme a profundidade de cada vertical da seção transversal; ** Vertical padrão representada pela vertical 4.

QUANTO À “USO/OCUPAÇÃO DO SOLO E OS IMPACTOS ANTRÓPICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA”

Visando contribuir com a geração e a atualização de informações que ampliem o conhecimento sobre a dinâmica territorial da região e forneçam subsídios para a gestão dos recursos hídricos, avaliamos as mudanças na ocupação e no uso da terra na bacia hidrográfica do rio Teles Pires. Isso foi feito nos últimos 34 anos e, ainda quantificamos as Áreas de Preservação Permanente (APPs) dos corpos hídricos, de acordo com a legislação vigente, verificando, dessa forma, se

existe conflito em relação ao uso e a ocupação dessas áreas, para, então, verificar a ocorrência de degradação.

Utilizando imagens dos sensores dos satélites Landsat 5 e 8, foram gerados mapas de uso e de ocupação da terra para a bacia, correspondentes ao período entre 1986 e 2020 (8 mapas), e identificadas as principais conversões de uso da terra ocorridas. Os resultados indicaram que as principais mudanças ocorridas na bacia hidrográfica do rio Teles Pires decorrem da conversão de áreas de cerrado e floresta amazônica para agricultura e pastagem (Figura 5).

Convém frisar que a intensidade de conversão de áreas registradas em diferentes momentos pode ser relacionada a condições econômicas e políticas vivenciadas pelo país. Ou seja, a ocupação dessa bacia hidrográfica se deu com o desmatamento de áreas de Cerrado e da Floresta Amazônia, por substituição, primeiramente, pela pastagem e, posteriormente, para agricultura, soja, milho e algodão, havendo maior substituição do cerrado por áreas de produção de agricultura. Essa variação, porém, ocorreu de forma diferenciada entre os anos e entre as regiões, e foram motivadas por condições econômicas, sociais e ambientais, capitaneadas por diferentes incentivos e de pensamentos de governos.

Para delimitação das APPs, utilizamos o Índice da Diferença Normalizada da Água Modificado (MNDWI), que melhor delimita os corpos hídricos, sendo essas delimitadas de acordo com a Lei 12.651/2012. Para identificar a existência de conflitos quanto ao uso da terra no interior das APPs, a delimitação delas foi cruzada com o mapa de uso e de ocupação da terra, referente ao ano de 2020. Nesse caso, a Área de Preservação Permanente (APP), relativas aos recursos hídricos (matas ciliares), delimitada para toda bacia do rio Teles Pires, equivaleu a 3,96% de sua área total e apresentou baixo estado de degradação, sendo, todavia, a pastagem o principal tipo de uso conflitante nessas áreas. A espacialização dos conflitos, no interior da bacia, evidenciou contrastes entre as diferentes regiões, indicando que as áreas mais críticas, em relação a conservação das APPs, localizam-se na porção centro-leste da bacia, ou seja, em região ou municípios com a economia baseada fortemente na pecuária.

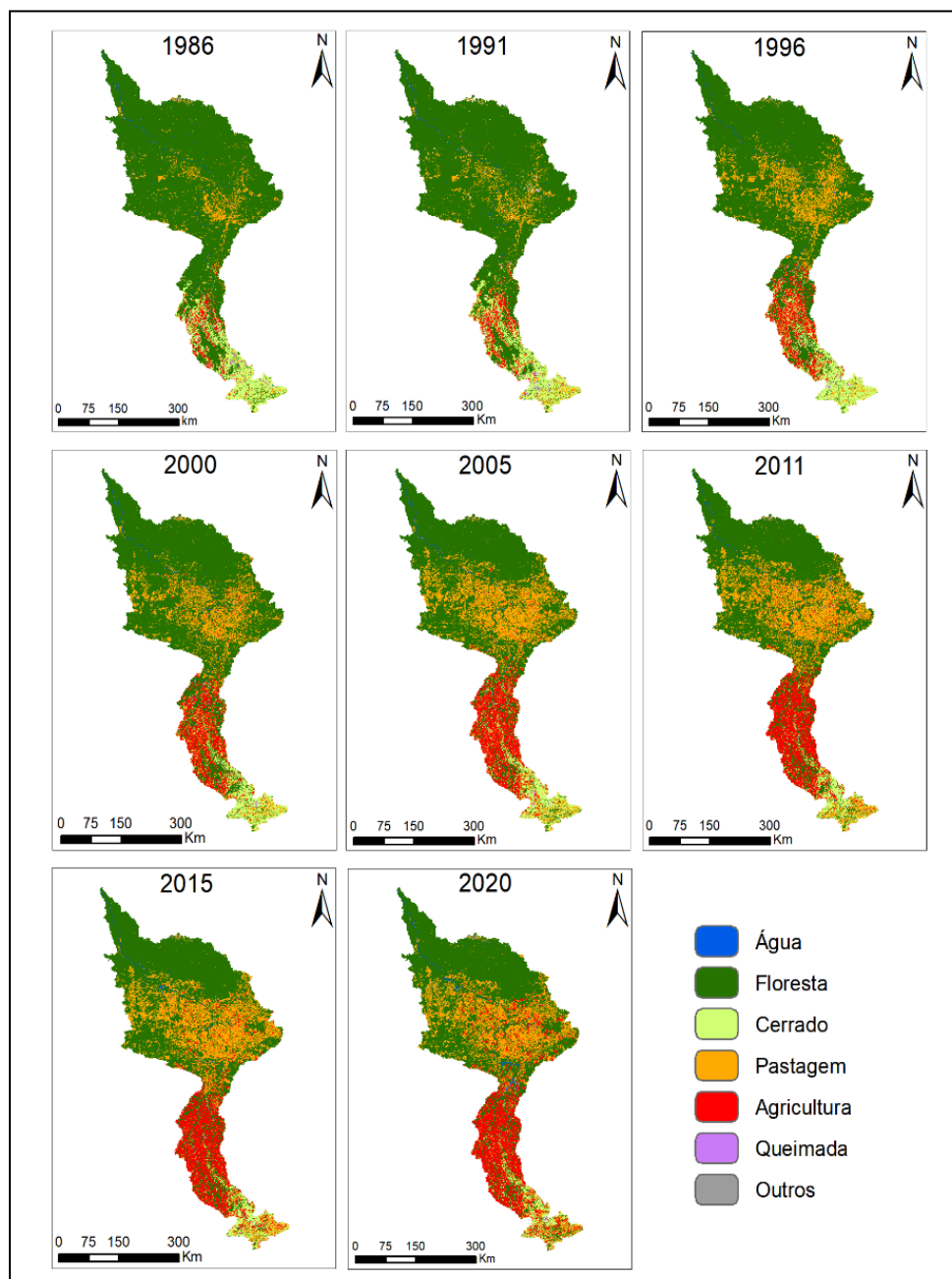


Figura 5. Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Teles Pires, entre 1996 e 2020. (Classificação realizada no âmbito do projeto – não se trata de produtos do *MapBiomas* ou outras plataformas).

QUANTO AO “DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO”

Em função das limitações de dados consistentes da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}), na região Amazônica, procurou-se enfrentar um problema crônico, em nosso país, que é o monitoramento hidrossedimentológico contínuo. Normalmente, a saúde dos corpos hídricos está associada ao uso e à ocupação do solo e se refletirá na presença ou não de sedimentos nesses, de forma que determinação da C_{ss} , em mananciais, pode fornecer um diagnóstico das condições do uso do solo e da água de uma bacia hidrográfica. No entanto, os métodos tradicionais de obtenção desses dados são onerosos, e o caráter pontual das amostragens dificulta a extrapolação dos resultados, ao longo dos rios e dos reservatórios.

Nesse sentido, uma das formas de buscar soluções técnicas pode ser pelo sensoriamento remoto que se apresenta como alternativa viável para sanar esses obstáculos, uma vez que a variação nas concentrações de sedimentos suspensos é perceptível em imagens de satélites, por meio da determinação das variações na reflectância das imagens de satélite. Dessa forma, criamos modelos que conseguem descrever o comportamento do transporte de sedimentos suspensos para o rio Teles Pires, mediante relação entre a C_{ss} e imagens de satélite, de forma a permitir a estimativa da C_{ss} , espacialmente e temporalmente, e com baixo custo. Em função de suas características, adotamos produtos da plataforma Sentinel 2a e b, com resolução espacial de 10 metros, aliada à resolução temporal de 5 dias, pois fornece informações relevantes e mais significativas sobre a dinâmica da C_{ss} na bacia.

Na execução deste trabalho, primeiramente realizamos revisão para a coleta de dados de C_{ss} , medidos pelas UHEs, ao longo do rio Teles Pires e que são disponibilizadas pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) e, ainda, que foram coletados no mesmo dia da passagem do satélite supracitado. Também foram realizadas campanhas de campo, recolhendo dados da C_{ss} , por meio de amostragem com equipamentos tradicionais, de forma a termos, também, nossos próprios dados primários. Todos esses dados foram datados, e

as imagens utilizadas no estudo corresponderam ao mesmo dia das coletas de campo, proporcionando a criação de modelos empíricos.

No processamento de imagens que se efetuou para obtenção das variáveis necessárias ao estudo, bandas espectrais e índices, o ambiente de processamento utilizado foi o Google Earth Engine (GEE), ferramenta que permitiu agilidade e flexibilidade na aplicação da metodologia. Verificou-se, ainda, que o acesso a diversas fontes de dados e a robustez no processamento do GEE mostram que essa ferramenta pode ser uma aliada no estudo de parâmetros de qualidade de água, via sensoriamento remoto. Após testar diversas bandas espectrais e índices calculados com bandas espectrais, e com inúmeras tendências de modelos, o melhor ajuste e precisão encontrados foi para um modelo exponencial, que estima a C_{ss} por meio de valores da reflectância da banda B4, que corresponde a faixa do vermelho do espectro visível.

QUANTO A “UTILIZAÇÃO DO MODELO SWAT”

No que tange aos modelos hidrológicos, eles têm sido utilizados como uma das ferramentas para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. A simulação hidrológica, em bacias com intensa produção agrícola, representa importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, principalmente para a caracterização das vazões passíveis de serem outorgadas para projetos de irrigação. Existe grande número de modelos hidrológicos, com características únicas e aplicações específicas. Dentre os diversos modelos hidrológicos, o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) tem se mostrado adequado para a previsão de impactos decorrentes da mudança de ocupação do solo e das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, magnitude de eventos extremos e produção de sedimentos em bacias hidrográficas agrícolas (LUBITZ et al., 2013; PEREIRA et al., 2016; RODRIGUES et al., 2015). No entanto, é um modelo robusto que necessita de combinação e disponibilidade de dados impedindo, às vezes, a execução plena do modelo. Assim, é necessária uma rede de monitoramento mais efetiva, em relação a dados meteorológicos, fluviométricos e de produção de sedimentos para estudos futuros.

As mudanças de cenários de uso e de ocupação do solo impactam na disponibilidade hídrica da bacia, conforme observado nas simulações realizadas. Para obter as vazões com o modelo SWAT foi considerado o período para simulação entre janeiro de 2009 a junho de 2019, apenas para a região do Alto Teles Pires (Figura 6).

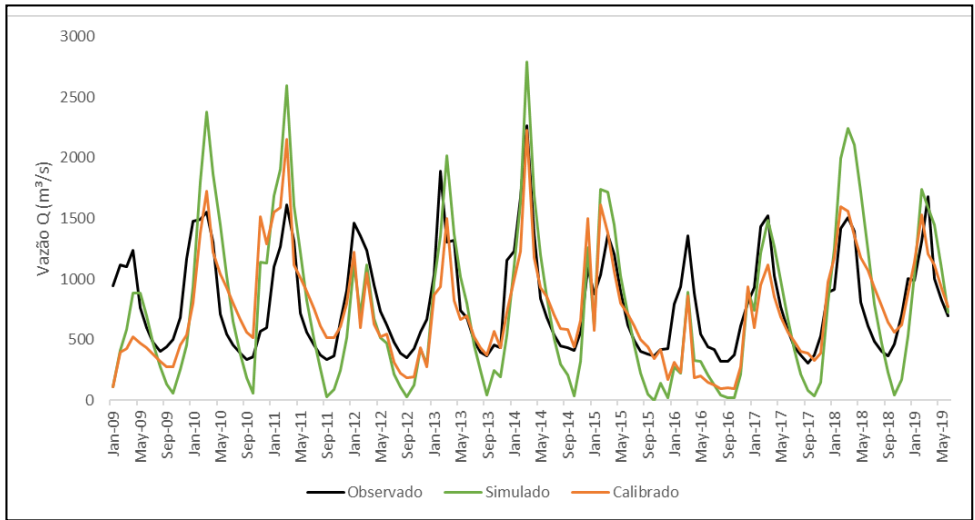


Figura 6. Resultado da modelagem de vazão da bacia do Alto Teles Pires, usando o modelo SWAT, comparando os valores observados com os valores simulados e calibrados.

Estudos semelhantes nessa bacia hidrográfica devem considerar segmentações por região, devido às limitações geradas nas bases de dados, em função da instalação dos barramentos hidrelétricos. Nesse caso, os períodos de dados para calibração e validação do SWAT, ao longo do curso principal do rio Teles Pires não apresentarão continuidade e possibilidade prática de simulações de cenários futuros, visto que ocorreram alterações nos regimes de vazões. Ainda assim, as primeiras simulações realizadas podem ser consideradas como os primeiros passos de um estudo mais complexo.

PERSPECTIVAS

A equipe de execução da proposta já apresenta interações e parcerias para a continuidade das pesquisas, visto que se encontra em fase de estudos/análises e calibrações/validações para aplicação do modelo SWAT, no contexto da bacia hidrográfica do rio Teles Pires. Nesse caso, foram elaborados diversos estudos para assegurar a confiabilidade das variáveis de entrada do modelo, como os atributos do solo, classes de solo, modelos digitais de elevação, delimitação das bacias, dentre outros.

As novas etapas que estão sendo desenvolvidas associam diferentes formas de obtenção e de entrada da evapotranspiração no modelo SWAT, assim como os cenários futuros de mudanças climáticas; todavia, os estudos serão direcionados para a região do Alto Teles Pires, em função das barragens das usinas hidrelétricas e/ou em sub-bacias hidrográficas importantes da região. Para a prossecução e dos estudos na região, o grupo de pesquisadores vem buscando financiamentos adicionais, para continuidade do monitoramento nas duas sub-bacias, análises e gerenciamento dos bancos de dados e publicações vinculadas ao projeto Capes/ANA.

Ressaltamos que a continuidade deste projeto, é fundamental para o fortalecimento das pesquisas nessa região importante ao setor do agronegócio brasileiro, e em tema necessário ao equilíbrio produtivo e ambiental, como a perspectiva de eficiência de produção, aliado à conservação dos recursos naturais, solo e água, para gerações futuras.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014**: relatório síntese. Brasília: ANA, 2016. 33 p.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterado pela Resolução CONAMA 397/2008. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Brasília, DF. 2005.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação ambiental integrada da bacia hidrográfica do rio Teles Pires**: relatório final – sumário executivo. 2009. 67p. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-248/topico-292/AAI%20Teles%20Pires%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final%20-%20Sum%C3%A1rio%20Executivo\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-248/topico-292/AAI%20Teles%20Pires%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final%20-%20Sum%C3%A1rio%20Executivo[1].pdf). Acessado em: 03 ago. 2023.

LUBITZ, E.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Simulação do Transporte de Sedimentos, Nitrogênio e Fósforo na Bacia do Ribeirão Concórdia, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 39-54, 2013.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – **Mapping the water surface in Brazil**: The dynamics of the water surface in the Brazilian territory (Coleção 1), 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acessado em: 5 Mai 2022.

PEREIRA, D. R.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT Model Part II: Simulation of hydrological variables and soil use scenarios. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 5, n. 1, p. 149-163, 2016.

RODRIGUES, E. L.; ELMIRO, M. A. T.; BRAGA, F. de A.; JACOBI, C. M.; ROSSI, R. D. Impact of changes in land use in the flow of the Pará River Basin, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 70–76, 2015.

**Influência da floresta na dinâmica
hidrossedimentológica de bacias
montanhosas no sul do Brasil**

Masato Kobiyama

Claudia Weber Corseuil

Irani dos Santos

Nilzo Ivo Ladwig

Devido aos efeitos das mudanças climáticas e à exploração territorial sem o adequado planejamento, o Brasil vem sofrendo cada vez mais desastres hidrológicos. Locais mais afetados por tragédias são as bacias montanhosas, as quais são caracterizadas geralmente pela presença de floresta. O objetivo deste estudo foi construir bacias-escola e compreender a relação entre os processos hidrogeomorfológicos e sedimentológicos, características da vegetação (especificamente floresta) e desastres hidrológicos, em bacias montanhosas no Sul do Brasil, no contexto de gestão integrada de recursos hídricos e de desastres. As observações de campo confirmaram que existe forte complexidade e alta heterogeneidade das dinâmicas de água, sedimento e detritos lenhosos, que reforça a necessidade de conduzir o monitoramento em bacias-escola. Houve dificuldades de compreender tais dinâmicas, mas a metodologia computacional empregada para o mapeamento de áreas susceptíveis aos movimentos de massas (escorregamento e fluxo de detritos) e à inundação brusca avançou com a combinação de dois modelos SHALSTAB e KANAKO e com aquela de HEC-HMS e HEC-RAS, respectivamente. Como consequência da execução do Projeto, foram produzidas 15 dissertações de mestrado, 7 teses de doutorado, cerca de 100 artigos em periódicos nacionais e internacionais, entre outros.

Palavras-chave: região montanhosa; fluxo de detritos; bacia-escola; floresta; gestão integrada de recursos hídricos e de desastres.

Com dados globais, Kobiyama, Michel e Goerl (2012) mostraram graficamente o aumento considerável dos desastres naturais a partir da década de 1950 e dos prejuízos econômicos a partir da década de 1970, no século XX. Na atualidade, os desastres naturais estão noticiados com maior frequência pela mídia. Por isso, a preocupação da sociedade vem se tornando cada vez maior. Embora existam diversas discussões sobre terminologias relacionadas a “desastres” e a “desastres naturais”, esta pesquisa segue a explicação de Chaudhary e Piracha (2021). Então, aqui, os desastres naturais podem ser causados pelos perigos naturais (*natural hazards*), tais como, inundação, escorregamento, fluxo de detritos, estiagem, tsunami, terremoto, furacão e tornado, na interação com fatores sociais, por exemplo, assentamento e infraestrutura.

Em outras palavras, inundações, escorregamentos, fluxos de detritos, estiagens, entre outros, são fenômenos naturais que ocorrem devido às características de determinadas regiões (vegetação, clima, topografia, solo etc.). Esses fenômenos podem ser considerados perigos naturais e, quando ocorrem em locais onde o ser humano se encontra, podem causar danos, sendo então, tratados como desastres naturais.

Em 2008, o *Emergency Disaster Data Base* – EM-DAT do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* – CRED, órgão parceiro da Organização Mundial da Saúde, reclassificou os tipos de desastres em dois grandes grupos: naturais e tecnológicos (SCHEUREN *et al.*, 2008). Os naturais foram divididos em seis subgrupos: biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e extraterrenos (meteoritos) e, esses, por sua vez, em outros doze subtipos. Essa nova classificação foi resultado de uma iniciativa entre o CRED e *Munich Reinsurance Company* – Munich Re, os quais decidiram adotar uma classificação em comum para os seus respectivos bancos de dados (BELOW; WIRTZ; GUHA-SAPIR, 2009).

A principal mudança foi a separação dos movimentos de massa em dois tipos: secos e úmidos. O primeiro está associado apenas aos eventos geofísicos (terremotos) e, o segundo, aos condicionantes hidrológicos e meteorológicos. De qualquer maneira, independentemente da origem, tais movimentos de massa consistem em escorregamentos, fluxos de detritos, entre outros. A *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* – UNISDR (atualmente *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* – UNDRR) também adotou a nova classificação, visto que o EM-DAT é o principal banco de dados utilizado pela UN (KOBİYAMA *et al.*, 2018).

Dentre todos os tipos de desastres naturais, os hidrológicos (inundações e movimentos de massa úmida) acarretam maiores problemas, tanto no mundo, quanto no Brasil. Como uma das metas da gestão de desastres naturais é entender os mecanismos de ocorrência de tais fenômenos (KOBİYAMA; GOERL; MONTEIRO, 2018), aumenta a importância de estudos relacionados a escorregamento e inundação, já que são os maiores causadores de prejuízos no Brasil.

Com base nas tragédias que ocorreram no Brasil nas últimas décadas, pode-se dizer que a população não está preparada, especialmente, com relação às inundações bruscas (TACHINI; KOBİYAMA; FRANK, 2009) e, sobretudo, aos escorregamentos (KOBİYAMA *et al.*, 2018). Quando os escorregamentos são de maior intensidade e grandes extensões, podem ocasionar fluxos de detritos (debris flow). Esse tipo de movimento de massa prejudica a comunidade diretamente, destruindo residências e infraestruturas (KOBİYAMA; PAUL, 2022). Segundo Kobiyama, Michel e Goerl (2019), os desastres associados ao fluxo de detritos são o maior desafio na gestão de risco e de desastre no Brasil.

Portanto, os desastres hidrológicos ou desastres relacionados à água são extremamente problemáticos no Brasil. Além disso, não obstante o tipo de desastre ocorrido, as vítimas necessitam, no primeiro momento, de água para sua sobrevivência. Isso significa que a garantia de água no momento da ocorrência de desastre e na fase pós-desastre é crucial na gestão dos desastres. Considerando esses dois fatores, fica evidente a necessidade de avançar a hidrologia.

Por sua vez, a hidrologia, ou seja, a ciência da água, vem se desenvolvendo junto com a história no processo de civilização (KOBİYAMA *et al.*, 2020b). Embora o ciclo hidrológico possa ser o objeto essencial da hidrologia,

os processos chuva-vazão têm sido o interesse principal para a maioria dos hidrólogos em suas pesquisas. Portanto, grande parte do esforço no avanço dessa ciência tem sido associado com a procura de mecanismos de geração de vazão, por exemplo, o escoamento superficial de Horton (1933), a área variável de fonte (variable source area) de Hewlett (1961), área parcial de fonte (partial source area) de Betson (1964) e o escoamento superficial de Dunne e Black (1970a, 1970b). Esses conceitos vêm influenciando fortemente, tanto os estudos de monitoramento, quanto os de modelagem hidrológica. Assim, desde o século passado, a hidrologia tem sido desenvolvida, gerando diversas descobertas científicas.

Nesse século, surgiu outro conceito científico de grande relevância para a hidrologia, a conectividade hidrológica, introduzido por Pringle (2001), o qual definiu, como, a transferência mediada por água, de matéria, de energia e de organismos, dentro ou entre elementos do ciclo hidrológico. Segundo Phillips, Spence e Pomeroy (2011), a conectividade hidrológica é crucial para entender a geração de vazão em bacias hidrográficas heterogêneas, por duas razões: (i) o divisor topográfico da bacia demonstra somente a área total da bacia, não necessariamente a área de contribuição; e (ii) a rede fluvial não é exatamente igual à rede de drenagem na qual toda a água está sendo transportada. Por essas razões, os mesmos autores estudaram a conectividade hidrológica em nível de bacia, demonstrando a sua importância na geração de vazão, nesse nível espacial.

Além do fluxo de água, a dinâmica de sedimentos vem sendo cada vez mais discutida com relação ao conceito de conectividade (MICHAELIDES; CHAPPELL, 2009). Então, naturalmente, na área de geomorfologia, a conectividade e a desconectividade, também começaram a ser debatidas intensamente (FRYIRS, 2013). Nesse caso, adota-se o termo conectividade de sedimento. Avaliando a conectividade como uma estrutura conceitual para a compreensão de transferência de sedimentos por intermédio de múltiplas escalas, Bracken *et al.* (2015) examinaram: (i) as distribuições das relações frequência-magnitude de processos de desagregação/transporte de sedimentos; (ii) as relações espaciais e temporais entre tais processos, e (iii) os mecanismos desses processos para desenvolver uma nova estrutura da conectividade de sedimentos.

Dessa forma, tendo caráter bastante interdisciplinar (TURNBULL *et al.*, 2018; VOUTSA *et al.*, 2021), a conectividade torna-se um dos temas mais discutidos na área de hidrologia, geomorfologia, hidrogeomorfologia e hidrosedimentologia no mundo (por exemplo, POEPPL; POLVI; TURNBULL, 2023). Consequentemente, acredita-se que esse conceito pode ser muito útil no estudo do mecanismo de ocorrência de desastres hidrológicos (por exemplo, KOBAYAMA; FRANCK, 2023).

Para avançar a hidrologia, a geomorfologia e a hidrogeomorfologia a fim de contribuir na gestão de desastres naturais, necessita-se implementar a bacia-escola. Segundo Kobiyama *et al.* (2020b), essa bacia é definida como uma região geográfica, com diversos instrumentos de medição que, além de útil às pesquisas científicas, pode ser um local para desenvolver atividades didáticas, servindo para o aprendizado de ciência, da educação e de qualquer tipo de formação intelectual a todos os cidadãos. A bacia-escola desperta, na comunidade, o interesse pela hidrologia e, consequentemente, amplia o conhecimento nessa área de estudo, fazendo com que aumente a participação da população na gestão dos recursos hídricos.

É importante ressaltar que as bacias-escola são de grande relevância não só para os hidrólogos, mas também para as comunidades locais. A conscientização da comunidade sobre a hidrologia pode ser intensificada com o uso de bacias-escola. Segundo Kobiyama, Goerl e Monteiro (2018), a gestão de desastres naturais necessita dos seguintes aspectos: (1) compreensão dos mecanismos dos fenômenos naturais que geram os desastres; e (2) aumento do potencial de resistência da sociedade contra esses fenômenos. O primeiro item consiste na execução da ciência, e o segundo necessita do apoio da ciência. Fica claro, portanto, que a implementação de uma rede de bacias-escola, certamente contribui na gestão de desastres naturais.

Para minimizar os prejuízos causados pelos desastres naturais, Lamontagne (2002) destacou como relevante a popularização da ciência. Como os desastres naturais no Brasil ocorrem principalmente devido à dinâmica da água, a hidrologia certamente tem um importante papel na redução deles. Além de demonstrar os mecanismos desencadeadores desses desastres, a hidrologia traz, ainda, a percepção dos fenômenos hidrológicos vivenciados diariamente, e evidencia a

importância da água e do convívio integrado com a natureza. Nesse contexto, a implementação da rede de bacias-escola deve ser uma ação urgente, no Brasil, a fim de reduzir os desastres naturais, especialmente os hidrológicos (inundação e movimento de massa úmida). Além disso, certamente essa implementação contribui significativamente na gestão de recursos hídricos.

Neste estudo, antes de implementar bacias-escola a fim de avançar a hidrologia, a geomorfologia e a hidrogeomorfologia no contexto de gestão integrada de recursos hídricos e desastres, precisou-se considerar dois itens relevantes: (i) bacias montanhosas; e (ii) efeito de floresta.

As montanhas se localizam praticamente em todas as configurações geográficas e climáticas do planeta Terra. As zonas de montanha variam significativamente de pequenas montanhas isoladas até grandes cadeias de montanhas, tais como, Andes e Alpes. Devido à grande variabilidade, a classificação de diferentes sistemas montanhosos é muito complexa, e métodos diversificados vêm sendo propostos a fim de considerar tal variabilidade (PRICE *et al.*, 2013). Evitando o problema de especificar uma altitude mínima para o relevo montanhoso, Warburton (2007) definiu geomorfologicamente as montanhas como áreas de relevo íngreme, onde sedimentação e erosão estão ativamente condicionadas por processos de encostas/canais.

Nesse sentido, este estudo adota essa definição. Vale ressaltar, ainda, que as regiões montanhosas têm, geralmente, encostas íngremes e relativamente compridas. Esses fatores fazem dos ambientes de montanha, locais sensíveis às atividades naturais e antrópicas (SKOULIKIDIS 2021). Espaços montanhosos são geomorfologicamente ativos e instáveis. Por isso, eles são, em geral, regiões de abundante produção de sedimentos e de alto potencial de erosão. Nesses ambientes, o tipo de clima, relevo, solo e vegetação, podem representar perigos potenciais para as pessoas que vivem nesses locais.

É interessante destacar que o desenvolvimento e a ocupação humana avançam cada vez mais sobre as regiões montanhosas, no Brasil. Isso faz com que opções de atividades de recreação e de ecoturismo em meio ao ambiente montanhoso sejam cada vez mais exploradas e procuradas. A deterioração da qualidade da água superficial nos grandes rios leva as comunidades locais a utilizarem outros mananciais de água superficial de pequeno porte, o que naturalmente faz

com que os órgãos públicos de abastecimento de água construam infraestruturas de captação, de tratamento e de abastecimento de água, nas regiões montanhosas. Além disso, nas áreas que apresentam crise de energia hidrelétrica, há tendência de construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em regiões montanhosas. Assim, a ocupação das regiões montanhosas e a sua utilização têm sido cada vez mais intensificadas. Semelhante à ocupação urbana, a ocupação na área montanhosa não é bem planejada (KOBİYAMA *et al.*, 2018) e zonas de desordenamento e de desorganização territorial são comumente observadas no ambiente montanhoso.

O crescente uso das montanhas pelo homem tem levado ao aumento do risco devido aos perigos naturais potenciais desses ambientes e esses riscos estão aumentando, devido às recentes pressões de desenvolvimento e, consequentemente, da mudança do ambiente. Mapeamentos de perigo/risco das áreas montanhosas estão se tornando componentes cada vez mais importantes no planejamento regional e local de uso do solo. Tais mapeamentos podem ter sua qualidade satisfatória, desde que as dinâmicas de água e de sedimentos sejam bem entendidas. Embora o entendimento sobre essas dinâmicas na montanha tenha avançado consideravelmente nas últimas décadas (PRICE *et al.*, 2013), o conhecimento ainda não é satisfatório para que se faça a boa gestão do uso e ocupação do solo, inclusive na elaboração dos mapeamentos.

Vale ressaltar, então, que as regiões sul e sudeste do Brasil possuem diversas regiões montanhosas, por exemplo, Serra do mar e Serra Geral. Groisman *et al.* (2005) e Marengo *et al.* (2009) relataram aumento significativo da chuva total e de intensidade de chuva na região sul e sudeste do Brasil. Isso pode aumentar a preocupação com a ocorrência de fluxos de detritos de grande escala, que estão se tornando mais frequentes na região montanhosa (KOBİYAMA *et al.*, 2019).

Em geral, bacias montanhosas são caracterizadas pela presença da floresta, ou seja, no universo das árvores, na dinâmica da água e dos sedimentos existentes em tais bacias, recebe fortemente influência da floresta. Nesse caso, as árvores, tanto vivas em pé, quanto mortas e deitadas, exercem efeitos sobre essa dinâmica. Dentro de uma bacia, o local onde há maior efeito da floresta sobre tais dinâmicas se apresenta na zona ripária, que produz detritos lenhosos, compostos por restos de galhos, troncos, raízes e folhas, e que contribuem para

modificar os processos fluviais. Em ambiente montanhoso, esses detritos podem formar escadas e/ou piscinas (step-pool) junto ao leito, providenciando também cobertura para peixes (KOBİYAMA *et al.*, 2020a).

As pesquisas sobre detritos lenhosos começaram a ganhar destaque no meio acadêmico a partir dos anos 1970, sendo muitas delas realizadas na Universidade do Estado de Oregon, EUA (CAMPAGNOLO; KOBİYAMA; FAN, 2020). Desde então, diversos autores demonstraram interesse no tema sobre detritos lenhosos junto ao rio, visto a grande quantidade de trabalhos realizados em inúmeros países. Existem, inclusive, manuais técnicos, tais como, USBR e ERDC (2016), que esclarecem de modo amplo a atuação da madeira no ecossistema fluvial, formas de proteção e de restauração dos processos fluviais. O Brasil se caracteriza por ter uma das maiores redes fluviais do mundo, bem como extensas áreas florestais, sendo, portanto, de extrema importância que o país desenvolva trabalhos com esse tema.

Além disso, de forma recente, no Brasil, vêm ocorrendo diversos desastres naturais relacionados a sedimentos. Vale observar que um, nesse sentido, que um evento de chuva intensa causa muitos escorregamentos e, conseqüentemente, gera fluxo de detritos e inundação brusca (enxurrada) nos canais fluviais e no seu entorno, ou seja, na zona ripária. No caso do Brasil, isso se chama especificamente fluxo de detritos lenhosos. Assim sendo, o estudo de detritos lenhosos é de extrema importância, tanto para a preservação ambiental, quanto na gestão de desastres naturais fluviais. Dessa maneira, a sociedade tem exigido que se faça cada vez mais a renaturalização de rios, o que torna o estudo sobre detritos lenhosos é fundamental para as técnicas de renaturalização.

Sob essas circunstâncias, a equipe do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), estava buscando possibilidades para conduzir estudos hidrológico, geomorfológico, hidrogeomorfológico e hidrossedimentológico em bacias montanhosas, com ênfase na gestão integrada de recursos hídricos e desastres naturais. Procurando outras instituições que realizam atividades similares com bacias montanhosas, na região Sul do Brasil, o GPDEN encontrou a equipe do Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG), da Universidade Federal do Paraná, a do Laboratório de Geoprocessamento Aplicado à Gestão Territorial da Universidade do Extremo

Sul Catarinense (UNESC), e a do Laboratório de Água, Floresta e Energia (HidroFEN) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Embora cada equipe conduzisse individualmente suas próprias pesquisas, o grupo das equipes de quatro universidades discutiu como executar um projeto e chegou ao consenso de tentar criar um tipo de rede de bacias-escola, caracterizadas pelo ambiente montanhoso, e que o Projeto fosse voltado também para contribuir para a gestão integrada de recursos hídricos e desastres naturais.

Com base nisso, o Projeto, inicialmente, propôs estudar seis bacias hidrográficas (Figura 1 e Tabela 1), sendo elas: do arroio Forromeco/RS, rio Rolante/RS, rio Maquiné/RS, rio Mampituba/SC-RS, rio Capivari/SC e rio Jacareí/PR. Nota-se, aqui, que, justamente por causa do conteúdo da proposta do presente projeto, a equipe executora escolheu o tema – 7 “Recursos Hídricos e Florestas” dentro das áreas temáticas prioritárias do Edital nº 16/2017, Pró-Recursos Hídricos – CAPES/ANA.

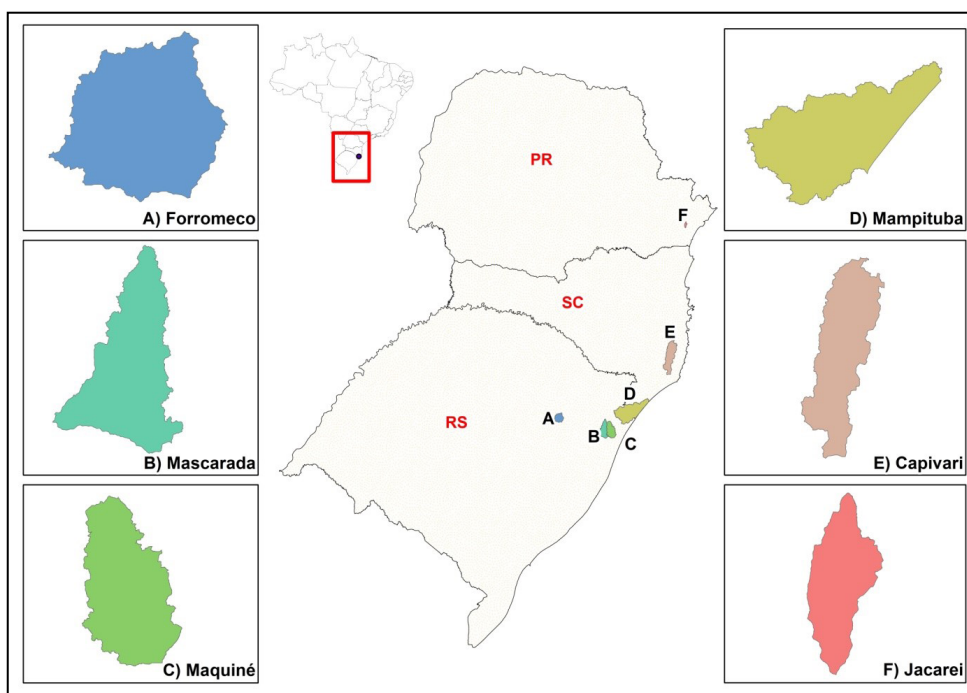


Figura 1. Localizações das bacias hidrográficas do Projeto “Influência da floresta na dinâmica hidrossedimentológica de bacias montanhosas no sul do Brasil”.

Tabela 1. Características das bacias hidrográficas do Projeto “Influência da floresta na dinâmica hidrossedimentológica de bacias montanhosas no sul do Brasil”

BACIA HIDROGRÁFICA	JACAREÍ		CAPIVARI		MAMPITUBA		MASCARADA		FORROMECO		MAQUINÉ	
	ÁREA (KM ²)	%	ÁREA (KM ²)	%	ÁREA (KM ²)	%	ÁREA (KM ²)	%	ÁREA (KM ²)	%	ÁREA (KM ²)	%
Total	40,23	100	1113,89	100	1886,1	100	496,67	100	288,09	100	510,40	100
Não Classificado	-	-	-	-	-	-	0,59	0,1	3,52	1,2	0,11	0,0
Formação Florestal	27,38	68,1	586,37	52,6	546,96	29,0	313,89	63,2	183,94	63,9	383,32	75,1
Mangue	0,62	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silvicultura	0,24	0,6	109,00	9,8	15,44	0,8	101,14	20,4	6,55	2,3	34,67	6,8
Campo Alagado	-	-	-	-	58,05	3,1	-	-	-	-	0,45	0,1
Formação Campestre	-	-	-	-	87,70	4,7	46,22	9,3	1,63	0,6	39,00	7,6
Outras formações não florestais	0,02	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	0,22	0,5	178,17	16,0	225,87	12,0	1,45	0,3	3,89	1,4	10,34	2,0
Mosaico de usos	5,05	12,6	168,26	15,1	444,52	23,6	16,64	3,4	70,07	24,3	27,33	5,4
Praia, Duna e Areial	-	-	-	-	2,32	0,1	-	-	-	-	-	-
Área Urbanizada	-	-	15,38	1,4	56,14	3,0	2,20	0,4	5,80	2,0	0,43	0,1
Outras áreas não vegetadas	0,12	0,3	1,25	0,1	5,71	0,3	0,30	0,1	1,08	0,4	0,05	0,0
Afloramento Rochoso	0,01	0,0	1,14	0,1	0,02	0,0	-	-	-	-	-	-
Aquicultura	-	-	0,05	0,0	0,14	0,0	-	-	-	-	-	-
Água	0,20	0,5	1,69	0,2	60,80	3,2	0,18	0,0	0,39	0,1	0,33	0,1
Soja	0,12	0,3	0,55	0,1	10,27	0,5	7,22	1,5	7,24	2,5	8,39	1,6
Arroz	-	-	39,36	3,5	154,37	8,2	1,49	0,3	-	-	0,58	0,1
Outras lavouras temporárias	0,41	1,0	11,71	1,1	78,76	4,2	5,35	1,1	4,00	1,4	5,40	1,1
Restinga Arborizada	5,81	14,4	0,95	0,1	139,04	7,4	-	-	-	-	-	-
Restinga Herbácea	0,04	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OBJETIVOS

O objetivo geral foi compreender a relação entre os processos hidrológicos, geomorfológicos, hidrogeomorfológicos e sedimentológicos, características da vegetação e desastres naturais/hidrológicos, em bacias sul – brasileiras (Bacias do arroio Forromeco, do rio Rolante, do rio Maquiné, do rio Mampituba, do rio Capivari, e do rio Jacareí) a fim de estabelecer a gestão integrada de recursos hídricos e desastres naturais no ambiente montanhoso.

Para isso, estabelecemos os seguintes objetivos específicos: (i) Implementar sistemas de monitoramento meteorológico, hidrológico, sedimentológico; (ii) Estabelecer e instrumentar bacias-escola nas áreas de estudo; (iii) Elaborar banco de dados com informações meteorológicas, hidrológicas, sedimentológicas; (iv) Elaborar mapas de identificação de áreas susceptíveis a inundação brusca e movimentos de massa através de modelos computacionais; (v) Elaborar mapas de usos e ocupação do solo com ênfase de floresta; (vi) Caracterizar a influência da vegetação na ocorrência de desastres naturais; (vii) Avaliar a dinâmica da água e do sedimento; (viii) Propor gerenciamento integrado dos recursos hídricos e de desastres naturais na região montanhosa.

IMPACTOS

O Projeto possibilitou a instalação de diversas estações meteorológicas, pluviométricas, fluviométricas e sedimentológicas em bacias hidrográficas da região sul do Brasil. Essa instalação foi associada à implementação de bacias-escola, com duas finalidades: pesquisas científicas sobre hidrologia, geomorfologia, hidrogeomorfologia e hidrossedimentologia; e conscientização de pessoas das comunidades e profissionais de diversas áreas (defesa civil, educadores, pesquisadores, gestores dos parques nacionais, gestores do Geoparque etc.) sobre gestão de recursos hídricos e desastres naturais.

Embora as instalações tenham tido bom desempenho em geral, algumas estações fluviométricas e hidrossedimentológicas foram danificadas devido à ocorrência de eventos extremos durante a execução do projeto e à natureza do rio montanhoso, ou seja, dinâmica bastante violenta da água e de sedi-

mentos em bacias montanhosas. Mesmo assim, o banco de dados de parâmetros hidrológicos é de boa qualidade, atendendo à suas finalidades acima mencionadas.

Para tratar as bacias de estudo, foi necessário utilizar as técnicas de geoprocessamento. Por exemplo, a fim de verificar as diferentes coberturas do solo em cada bacia, utilizou-se os dados de MapBioma Brasil. Como exemplo, a Figura 2 apresenta as coberturas de solo da bacia do rio Mampituba de 2020. Nesse mapa, verificou-se que as taxas das áreas de Floresta Nativa e de Floresta Plantada são 29,00% e 0,82%, respectivamente. O reconhecimento desses dados e de suas distribuições espaciais podem ser úteis nas análises hidrológica, geomorfológica e hidrogeomorfológica das bacias.

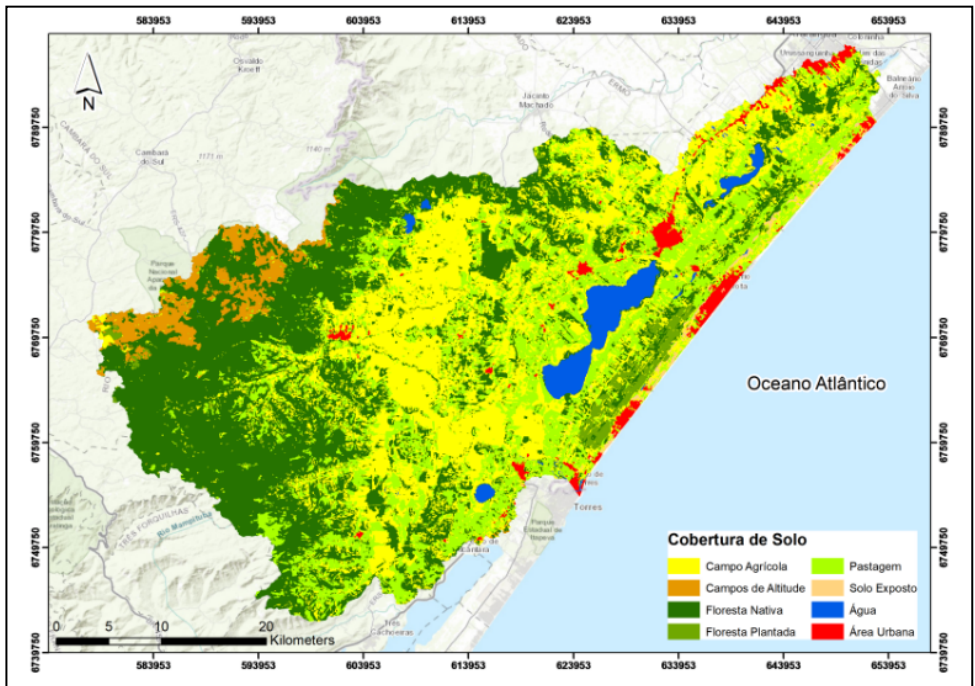


Figura 2. Cobertura de solo na bacia do rio Mampituba.

Devido ao aumento da demanda científica, o Projeto precisou adicionar mais duas bacias de estudo dentro do estado de Santa Catarina, isto é, a bacia hidrográfica do Rio Araranguá – BHRA (3071,19 km²) e a bacia hidrográfica

do Rio Urussanga – BHRU (679,75 km²), (Figura 3). As características dessas unidades podem ser observadas na Tabela 2.

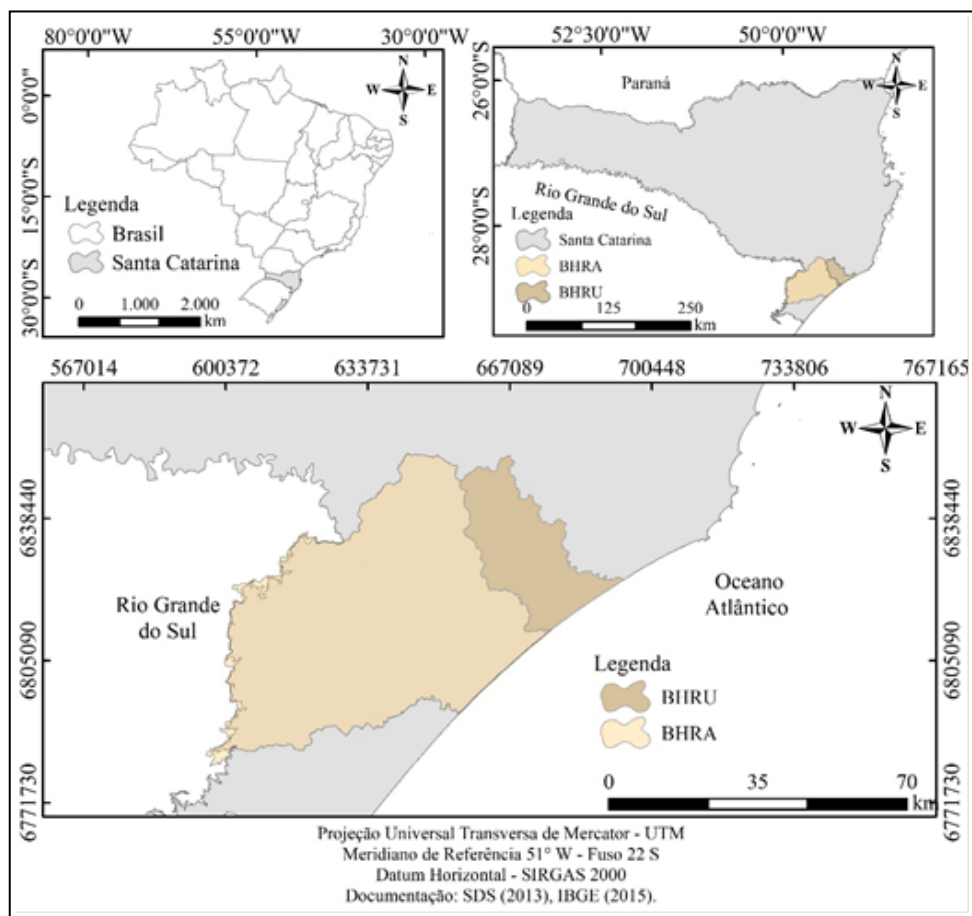


Figura 3. Localização das bacias hidrográficas do Rio Araranguá – BHRA e do Rio Urussanga – BHRU

Tabela 2. Mensuração das classes de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas estudadas no estado de Santa Catarina: bacia hidrográfica do Rio Araranguá (*BHRA*) e bacia hidrográfica do Rio Urussanga (*BHRU*).

CLASSES DE USO	BHRA EM 2019		BHRU EM 2020	
	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Tecido urbano	120,55	3,93	59,106	8,70
Áreas agrícolas (tipo solo exposto)	897,30	29,22	184,521	27,15
Pastagens e vegetação rasteira	583,62	19,00	157,14	23,12
Vegetação arbórea/arbustiva	1221,24	39,76	252,368	37,13
Áreas de extração mineira	4,94	0,16	2,242	0,33
Massa da água	20,82	0,68	9,942	1,46
Dunas e areais	7,93	0,26	5,959	0,88
Sombra	214,79	6,99	8,479	1,25
Total	3071,20	100	679,757	100

Com base na observação em campo, a conectividade de sedimento foi avaliada satisfatoriamente, com consideração do efeito da floresta, por exemplo, Zanandrea, Michel e Kobiyama (2020) e Zanandrea *et al.* (2021).

Ao longo da pesquisa, por meio de monitoramento e de modelagem, a metodologia para mapeamento de áreas susceptíveis à inundação brusca e ao movimento de massa (escorregamento e fluxo de detrito) vem sendo consolidada em termos de abordagem computacional. No caso de inundação brusca, estudo hidrológico pode ser feito com HEC-HMS. Após isso, o HEC-RAS pode ser usado (FAGUNDES *et al.*, 2022), mas Vasconcellos *et al.* (2021) demonstraram que o modelo HAND (RENNÓ *et al.*, 2008) pode ser usado na situação sem dados hidrológicos, e no caso de leque aluvial, o modelo FAN (FEMA, 2003) pode ser muito útil. No caso de movimento de massa, uma combinação do uso de dois modelos SHALSTAB (DIETRICH; MONTGOMERY, 1998) e Kanako-2D (NAKATANI *et al.*, 2008) pode ser uma boa ferramenta para avaliar eventos dessa natureza.

Enquanto a metodologia computacional para mapear áreas susceptíveis a movimento de massa e a inundação brusca está consolidada, o conhecimento sobre a dinâmica da água e do sedimento ainda é insuficiente. Embora esses es-

tudos tenham avançado, a complexidade e a alta heterogeneidade dos fenômenos hidrogeomorfológicos da água e do sedimento necessitam, ainda, de mais estudos em campo. Em outras palavras, o presente trabalho obteve resultados interessantes, entretanto, ainda há uma grande demanda para avançar esse estudo, especialmente de monitoramento em campo.

Como a divulgação dos resultados científicos à comunidade geral seja obrigatória para cientistas, diversos cursos de capacitação foram realizados de forma remota e presencial. Aqui, destacam-se os cursos de capacitação de monitoramento e modelagem computacional para técnicos da defesa civil regional (CORSEUIL *et al.*, 2019) e para pesquisadores e gestores (FAGUNDES *et al.*, 2023). Todos os conteúdos dados nos cursos foram sustentados pelos resultados obtidos nas pesquisas com bacias-escola.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

O Projeto proporcionou significativamente a formação de recursos humanos, sendo 15 mestres e 7 doutores, publicação de mais de 100 materiais científicos e na realização de diversos cursos de capacitação e de palestras locais e nacionais. Embora as bolsas de estudo ajudassem no desenvolvimento de dissertações e teses, o Projeto também contribuiu, significativamente para a formação de mais mestres e doutores no país.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

*O símbolo * indica que o trabalho foi conduzido com bolsa do Projeto.*

MESTRADOS

ABATTI, B. H. (2021) Avaliação da conectividade hidrossedimentológica em uma pequena bacia do Planalto dos Campos Gerais no Rio Grande do Sul. (UFRGS)*. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/247035>

- AGUIAR, A.F. (2020)** Regionalização de vazões mínimas diárias e mensais para bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina, Brasil. (UFSC).
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/220486/PGES0026-D.pdf>
- ALVEZ JR., F. M. (2021)** Mapeamento de índice de risco de inundação devido a rompimento de barragem. (UFSC).
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216742?show=full>
- AMARAL, L. (2021)** Classificação hidrológica dos solos aplicada ao estado de Santa Catarina, Brasil. (UNESC)*.
<http://www.bib.unesc.net/pergamum/biblioteca/index.php>
- ANGELO, A. C. S. (2022)** Precipitação extrema e modelagem hidrogeomorfológica de fluxo de detritos na Bacia do Jacareí - Serra do Mar paranaense. (UFPR).
<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/81995?show=full>
- CENSI, G. (2019)** Regionalização do *tank model* para produção de sedimentos. (UFRGS)
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/197935?locale-attribute=es&show=full>
- FAGUNDES, M. R. (2021)** Previsão Hidrológica como ferramenta para auxiliar no critério de fechamento da trilha do rio do Boi (SC). (UFRGS).
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/250620>
- GUIRRO, M. O. (2020)** Reconstrução hidrológica e hidrodinâmica de evento de inundação, testando a hipótese de rompimento de barragem natural, na região do município de Rolante (RS).
<https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp-content/uploads/2023/04/III-END0068-10.pdf>
- MELO, C. M. (2018)** Efeito da caracterização das unidades geotécnicas no mapeamento das áreas susceptíveis a escorregamentos com modelo SHALSTAB. (UFRGS).
<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/181045>
- MENEZES, D. (2021)** Caracterização hidrossedimentológica de trecho do rio Forqueta, Maquiné, RS. (UFRGS)*.
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/238382>
- OLIVEIRA, A. J. M. (2021)** Cobertura e uso da terra na bacia do rio Urussanga, Santa Catarina, Brasil. (UNESC)*.
- PAUL, L. R. (2020)** Proposição de modelo para simulação de fluxos de detritos em escala de bacia. (UFRGS).
<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/225305>
- SCHWARZ, H. (2019)** Identificação, mapeamento e caracterização de cicatrizes de escorregamentos. (UFRGS).
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/219434/001122803.pdf>

SILVA, J. G. S. (2021) Cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Araranguá, Santa Catarina, Brasil. (UNESC) *.

<http://repositorio.unesc.net/handle/1/9103>

SZYMANSKI, F. D. (2020) Análise de inundações em bacias montanhosas no sul do Brasil por meio de monitoramento e modelagem. (UFSC) *.

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216742?show=full>

DOCTORADO

CAMPAGNOLO, K. (2021) Influência dos detritos lenhosos na dinâmica fluvial de um rio de cabeceira em Floresta de Araucária. (UFRGS) *.

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/234454>

LOPES, F. C. A. (2019) Espessura do solo e forma da vertente como condições de contorno na instabilidade de encosta. (UFPR).

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/80378>

MOREIRA, L. L. (2022) Verification of efficacy of flood vulnerability indices through sensitivity analysis. (UFRGS) *.

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/238381>

PAIXÃO, M. A. (2021) Hydrogeomorphological characterization of a canyon river in Southern Brazil: a specific type of mountain river. (UFRGS).

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/231338>

SANT ANA, W. O. (2021) Análise multicritério e modelo SHALSTAB para mapeamento de áreas susceptíveis à escorregamentos em encostas. (UNESC).

VANELLI, F. M. (2023) Contribuições da socio-hidrologia na redução de riscos e desastres associados a perigos naturais. (UFRGS).

ZANANDREA, F. (2020) Índice de Conectividade Hidrossedimentológica para Bacias Montanhosas. (UFRGS).

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/219741/001124290.pdf?sequence=1>

PÓS-DOCTORADO

ZANANDREA, F. (2022) Proposição de um Índice de Conectividade Hidrossedimentológica como ferramenta para gestão de bacias hidrográficas. (UFRGS).

A produção científica do projeto resultou em grande número de materiais: 97 artigos científicos em periódicos; 29 capítulos de livros; 4 livros e 11 eventos organizados. Apenas os mais relevantes estão relacionados a seguir. Além dessas informações, salienta-se que o número total de artigos publicados em anais de eventos científicos foi 75. Também se destaca a realização do III Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro, em Niterói/RJ, de 06 a 09/03/2023. A organização desse Encontro foi conduzida com grande participação dos membros do GPDEN, ou seja, os colaboradores do presente Projeto. Aproveitando esse evento, ZANANDREA *et al.* (2023) lançaram o livro “Desastres e água: eventos históricos no Brasil”. Assim, tanto o evento, quanto o livro impactaram de forma positiva a comunidade dos recursos hídricos e desastres.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA MAIS RELEVANTE

ARTIGOS CIENTÍFICOS EM PERIÓDICOS

ALVEZ JUNIOR, F. M.; KOBIYAMA, M. CORSEUIL, C. W. Flood risk index mapping of an area downstream of a dam in case of a break. *Mercator*, v.22, e22004, 2023.
<http://dx.doi.org/10.4215/RM0000.0000.0000>

CAMPAGNOLO, K.; KOBIYAMA, M. Woody debris characterization in a small basin with araucaria forest. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.22, p.463-474, 2021.
<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i2.1984>

CAMPAGNOLO, K.; KOBIYAMA, M.; FAN, F. M. Panorama geral sobre estudos da influência dos detritos lenhosos na dinâmica de rios do mundo e do Brasil. *Ciência e Natura*, v.42, e62, 2020.
<https://doi.org/10.5902/2179460X39228>

CAMPAGNOLO, K.; VASCONCELLOS, S.M.; CASTIGLIO, V.S.; FAGUNDES, M.R.; KOBIYAMA, M. Aplicação do Tank Model como Ferramenta de Gestão na Bacia do Rio Perdizes – Camará do Sul/RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.2 p.1143-1158, 2021.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1143-1158>

FRANCK, A. G.; MENEZES, D.; KOBIYAMA, M. Avaliação da susceptibilidade a escorregamentos translacionais em Maquiné/RS e influência dos dados de campo na qualidade do mapeamento de perigo. *Caminhos de Geografia*, v.24, n.93, 2023.
<https://doi.org/10.14393/RCG>

GONZÁLEZ-ÁVILA, I.; JATO-ESPINO, D.; PAIXÃO, M. A.; CARVALHO, M. M.; KOBİYAMA, M. Sociogeomorphological analysis in a headwater basin in southern Brazil with emphasis on land use and land cover change. *Land*, v.12, 306, 2023.

<https://doi.org/10.3390/land12020306>

GUIRRO, M. O.; MICHEL, G. P. Hydrological and hydrodynamic reconstruction of a flood event in a poorly monitored basin: a case study in the Rolante River, Brazil. *Natural Hazards*, v.117, p.723–743, 2023.

<https://doi.org/10.1007/s11069-023-05879-1>

KOBİYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Proposal of debris flow disasters management in Brazil based on historical and legal aspects. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v.11, n.3, p.85-93, 2019.

<https://doi.org/10.13101/ijece.11.85>

MELO, C. M.; KOBİYAMA, M.; MICHEL, G. P.; DE BRITO, M. M. The relevance of geotechnical-unit characterization for landslide-susceptibility mapping with SHALSTAB. *GeoHazards*, v.2, p.383–397, 2021.

<https://doi.org/10.3390/geohazards2040021>

MENEZES, D.; KOBİYAMA, M. Hydrosedimentological characterization of a reach in the Forqueta River catchment, south Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.128, 104430, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104430>

MENEZES, D.; KOBİYAMA, M.; MICHEL, G. P. Análise da composição da vazão na bacia hidrográfica do rio Forqueta (Maquiné/RS), Sul do Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v.19, e11, 2022.

<https://doi.org/10.21168/reg.v19e11>

MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; GOERL, R. F.; ZANANDREA, F.; PAUL, L. R.; SCHWARZ, H.; CARDOSO, G. L. Efeitos da vegetação na modelagem de estabilidade de encostas na bacia hidrográfica do rio Cunha, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.22, p.824-846, 2021.

<https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.2008>

MOREIRA, L. L.; BRITO, M. M.; KOBİYAMA, M. Review article: A systematic review and prospects of flood vulnerability indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.21, p.1513–1530, 2021.

<https://doi.org/10.5194/nhess-21-1513-2021>

MOREIRA, L. L.; BRITO, M. M.; KOBİYAMA, M. Effects of different normalization, aggregation, and classification methods on the construction of flood vulnerability indexes. *Water*, v.13, 98, 2021.

<https://doi.org/10.3390/w13010098>

- MOREIRA, L. L.; VANELLI, F. M.; SCHWAMBACK, D.; KOBİYAMA, M.; DE BRITO, M. M.** Sensitivity analysis of indicator weights for the construction of flood vulnerability indexes: A participatory approach. *Frontiers in Water*, v.5, 970469, 2023.
<https://doi.org/10.3389/frwa.2023.970469>
- PAIXAO, M. A.; KOBİYAMA, M.** Relevant parameters for characterizing mountain rivers: a review. *Brazilian Journal of Water Resources*, v.24, p.1-13, 2019.
<https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180115>
- PAIXÃO, M. A.; KOBİYAMA, M.** Flow resistance in a subtropical canyon river. *Journal of Hydrology*, v.613, Part B, 128428, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128428>
- PAIXAO, M. A.; CORSEUIL, C. W.; KOBİYAMA, M.; GONZALEZ AVILA, I.; VANELLI, F. M.; OLIVEIRA, H. U.; VASCONCELLOS, S. M.; CAMPAGNOLO, K.; FAGUNDES, M. R.** occurrence of multi-disasters in the mampituba river basin, southern brazil, during the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v.13, n.4, p.84-92, 2021.
<https://doi.org/10.13101/ijece.13.84>
- SANTANA, W. O.; BACK, Á. J.; MICHEL, G. P.; LADWIG, N. I.; CONTO, D.; ZAVARIZE, M. S.** Escorregamentos em encostas florestadas na bacia hidrográfica do rio Mãe Luzia, Treviso – Santa Catarina, Brasil. *Caminhos da Geografia*, v.23, p.156-169, 2022.
- SCUSSEL, C.; ZOCHE, J. J.; LADWIG, N. I.; CONTO, D.** Fragmentação florestal em área de Mata Atlântica no sul do Brasil: Uma análise baseada em métricas da paisagem. *Geografia Ensino e Pesquisa*, v.1, p.e45, 2020.
- SZYMANSKI, F. D.; KOBİYAMA, M.; GIEHL, M. R.; CORSEUIL, C. W.** Avaliação de velocidade de rios em bacias montanhosas, região sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, p.1434-1446, 2022.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1434-1446>
- SZYMANSKI, F. D.; VASCONCELLOS, S. M.; KOBİYAMA, M.; GIEHL, M. R.; CORSEUIL, C. W.** Análise de inundações em bacias montanhosas no sul do Brasil por meio de monitoramento e modelagem. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, p.1564-1582, 2022.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1564-1582>
- VANELLI, F. M.; KOBİYAMA, M.** How can socio-hydrology contribute to natural disaster risk reduction? *Hydrological Sciences Journal*, v. 66, 12, p. 1758-1766, 2021.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1967356>
- VANELLI, F. M.; KOBİYAMA, M.; DE BRITO, M. M.** To which extent are socio-hydrology studies truly integrative? The case of natural hazards and disaster research. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.26, p.2301-2317, 2022.
<https://doi.org/10.5194/hess-26-2301-2022>

VASCONCELLOS, S. M.; KOBİYAMA, M.; DAGOSTIN, F. S.; CORSEUIL, C. W.; CASTIGLIO, V. S. Flood hazard mapping in alluvial fans with computational modeling. *Water Resources Management*, v.35, p.1463–1478, 2021.

<https://doi.org/10.1007/s11269-021-02794-7>

ZAMBRANO, F. C.; KOBİYAMA, M.; PEREIRA, M. A. F.; MICHEL, G. P.; FAN, F. M. Influence of different sources of topographic data on flood mapping: urban area São Vendelino municipality, southern Brazil. *Brazilian Journal of Water Resources*, v. 25, e40, 2020.

<https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190108>

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; CARDOZO, G. L. Evaluation of different DTMs in sediment connectivity determination in the Mascarada River Watershed, southern Brazil. *Geomorphology*, v.332, p.80–87, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.005>

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M. Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment. *Geomorphology*, v.351, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106962>

ZANANDREA, F.; PAUL, L. R.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; ZANINI, A. S.; ABATTI, B. H. Conectividade dos sedimentos: Conceitos, princípios e aplicações. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.21, n.2, 2020.

<https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1754>

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; CENSI, G.; ABATTI, B. H. Spatial-temporal assessment of water and sediment connectivity through a modified connectivity index in a subtropical mountainous catchment. *Catena*, v. 204, 105380, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105380>

CAPÍTULOS DE LIVROS

FAGUNDES, M. R.; KOBİYAMA, M.; FAN, F. M.; CREECH, C.; VANELLI, F. M. Hydrological forecasting with HEC-RTS: Case study of Boi River trail, southern Brazil. *In: MAGNORI JÚNIOR, L.; et al. (orgs.) Ensino de geografia e a redução do risco de desastres em espaços urbanos e rurais*. São Paulo: Centro Paula Souza, 2022. p.602-624.

https://www.researchgate.net/publication/365038599_Ensino_de_Geografia_e_a_Reducao_do_Risco_de_Desastres_em_espacos_urbanos_e_rurais

KOBİYAMA, M.; CAMPAGNOLO, K.; MENEZES, D.; PAIXÃO, M. A. Manejo da zona ripária para redução de risco de desastres no ambiente montanhoso. *In: MAGNONI JR, L.; et al. (Orgs.) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. 2. ed. São Paulo: CPS, 2020.

https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020.pdf

KOBIYAMA, M.; VANELLI, F. M.; OLIVEIRA, H. U.; VASCONCELLOS, S. M.; CAMPAGNOLO, K.; BRITO, M. M. MOREIRA, L. L. Uso da bacia-escola na redução do risco de desastres: uma abordagem socio-hidrológica. *In*: MAGNONI JR, L.; *et al.* (orgs.) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2. ed. São Paulo: CPS, 2020.

https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020.pdf

PAUL, L. R.; *et al.* Escorregamentos e inundação brusca na bacia hidrográfica do rio Rolante/RS no ano de 2017. *In*: ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; FLEISCHMANN, A. S.; COLLISCHONN, W. (orgs.) *Desastres e água: eventos históricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRHidro, 2023.

https://www.abrh.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&LIVRO=257&TITULO=desastres_e_agua_eventos_historicos_no_brasil

ZANANDREA, F.; ABATTI, B. H.; PAUL, L. R.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P. O Índice de Conectividade Hidrossedimentológica: Uma ferramenta auxiliar na gestão de risco de desastres naturais. *In*: MAGNORI JÚNIOR, L.; *et al.* (orgs.) Ensino de geografia e a redução do risco de desastres em espaços urbanos e rurais. 1. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2022.

https://www.researchgate.net/publication/365038599_Ensino_de_Geografia_e_a_Reducacao_do_Risco_de_Desastres_em_espacos_urbanos_e_rurais

LIVROS

LADWIG, N. I.; CAMPOS, J. B. (ORGS.) *Planejamento e gestão territorial: o papel e os instrumentos do planejamento territorial na interface entre o urbano e o rural*. Criciúma: Unesc, 2019.

SUTIL, T.; LADWIG, N. I.; SILVA, J. G. S. (ORG.) *Turismo em áreas protegidas*. 1. ed. Criciúma: EdiUnesc, 2021. 252p.

<http://repositorio.unesc.net/handle/1/9041>

ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P.; FLEISCHMANN, A.S.; COLLISCHONN, W. (ORGS.) *Desastres e água: eventos históricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRHidro, 2023. 398p.

https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&LIVRO=257&TITULO=desastres_e_agua_eventos_historicos_no_brasil

EVENTOS ORGANIZADOS

CORSEUIL, C. W.; *et al.* *Curso de capacitação “Redução de Desastres Hidrológicos (inundações, deslizamentos e fluxo de detritos): monitoramento e modelagem” para Defesa Civil de Santa Catarina, em Araranguá/SC, em 27 a 29/03/2019.*

CORSEUIL, C. W.; *et al.* Curso de Capacitação em Redução de Risco e Desastres Naturais para o extremo Sul de Santa Catarina, em Jacinto Machado/SC, em 17 a 19/08/2022.

LADWIG, N. I.; SALVIO, G. M. M.; FERRETTI, O. E.; SUTIL, T. *XIII Seminário de Pesquisa em Planejamento e Gestão Territorial*. 2022. (on-line).
<https://www.even3.com.br/sppgt2022>

MICHEL, G. P.; *et al.* *VI Curso de extensão da UFRGS Modelagem Hidrogeomorfológica para mapeamento de risco*, em Porto Alegre/RS.

ZANANDREA, F.; *et al.* *III Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro*, em Niterói/RJ, em 06 a 09/03/2023.

Como explicado no item INTRODUÇÃO, o Projeto tratou de diversas bacias hidrográficas montanhosas na região Sul do Brasil. Tratando os três estados do Sul do Brasil, a porção leste, onde o bioma Mata Atlântica é predominante, foi estudada mais especificamente. Em nível nacional, essa área de estudo pertence à bacia hidrográfica Atlântico Sul. Portanto, especialmente os gestores que trabalham com a Atlântico Sul poderão aproveitar os resultados obtidos pelo Projeto, apresentados nas Tabelas 3 e 4.

O Projeto desenvolvido teve como objetivo compreender a relação entre os processos hidrológicos, geomorfológicos, hidrogeomorfológicos e sedimentológicos, características da vegetação e desastres hidrológicos, em bacias de região montanhosa no sul do Brasil. Dessa forma, considerando que estudos em bacias montanhosas com base em monitoramento são escassos na região sul do Brasil e, que essas bacias apresentam respostas hidrológicas rápidas, o projeto desenvolvido contribui para aumentar o banco de dados hidrosedimentológico, auxiliando na implantação de instrumentos de gestão de recursos hídricos, bem como para a melhoria do funcionamento do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Por meio da instalação de diversas estações de monitoramento hidrológico e por meio da realização de cursos de capacitações para diversas comunidades,

foi possível implementar bacias-escola e utilizá-las para promover a educação ambiental. A condução do Projeto evidenciou que bacias-escola são ferramentas úteis para avançar as Geociências, como a hidrologia, geomorfologia e hidrogeomorfologia, e para capacitar e conscientizar gestores e cidadãos comuns.

Realizando levantamento de dados, monitoramento em campo (instalação de estações hidrometeorológicas) e a modelagem computacional, reconheceu-se que as dinâmicas da água e de sedimento (incluindo detritos lenhosos) são tão complexas e heterogêneas, que ainda existe uma grande necessidade de realizar mais estudos para compreender os processos envolvidos.

Acredita-se que a presença da floresta ou de árvores é positiva para a sociedade, ou seja, a função da floresta é sempre favorável na gestão de recursos hídricos e de desastres. Entretanto, resultados obtidos neste estudo confirmam que tal função, ora pode ser positiva, ora negativa, dependendo de cada situação ou do local onde elas se encontram. Isso mostra que há necessidade ainda maior de conduzir estudos sobre as relações entre floresta, água e sedimentos em nível de bacias hidrográficas por meio de monitoramento.

Mesmo que ainda haja necessidade de realizar muitos trabalhos de monitoramento em campo, a metodologia computacional de mapeamento de áreas susceptíveis ao movimento de massa e à inundação brusca vem se consolidando. No primeiro caso, o uso da combinação de SHALSTAB e Kanako pode gerar mapas de zoneamento de perigo, enquanto o segundo pode ser gerado com a combinação de HEC-HMS e HEC-RAS (ou HAND ou FAN).

PERSPECTIVAS

Entre os desastres relacionados à água e aos sedimentos que aconteceram nos anos de 2022 e 2023, aqueles que ocorreram no município de Petrópolis/RJ, em fevereiro de 2022, na Região Metropolitana de Recife, em maio e junho de 2022 e, no litoral norte paulista, em fevereiro de 2023, podem ser considerados os maiores, em termos de perdas de vidas humanas, registrando 234, 130 e 65 óbitos, respectivamente. Essas regiões são caracterizadas por Mata Atlântica e ambiente montanhoso (ou encostas declivosas). Essas três ocorrências estão

diretamente associadas a anormalidades pluviométricas. Em uma região muito pequena do município de Petrópolis, a intensidade da chuva atingiu 230 mm em apenas três horas. Na Região Metropolitana do Recife, o evento de chuva persistiu por 22 dias, de 22 de maio a 12 de junho de 2022, totalizando 926,4 mm. Já no município de Bertioga/SP, a quantidade de chuva, em 24 horas, alcançou 682 mm, estabelecendo um recorde nacional.

Os eventos extremos hidrológicos estão cada vez mais frequentes no Brasil. Além disso, há tendência de que essa anormalidade pluviométrica se torne ainda mais comum nas bacias montanhosas. Assim, a gestão integrada de recursos hídricos e de desastres é urgentemente requisitada pela sociedade brasileira. Para isso, é indispensável avançar ainda mais a hidrologia, a geomorfologia e a hidrogeomorfologia, a fim de compreender a dinâmica violenta e rápida da água e dos sedimentos, inclusive de detritos lenhosos.

Espera-se, portanto, que o presente estudo popularize a construção e o uso das bacias-escola, a fim de contribuir para o avanço científico e para a conscientização dos cidadãos. Por fim, recomenda-se que o tamanho das bacias-escola seja na faixa de 1 a 100 km², pois bacias menores caracterizam melhor o ambiente montanhoso, e são mais eficientes para envolver comunidades locais.

REFERÊNCIAS

- BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. **Disaster Category - Classification and peril Terminology for Operational Purposes**. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 19p., 2009.
- BETSON, R. P. What is watershed runoff? **Journal of Geophysical Research**, v.69, p.1541-1552, 1964.
- BRACKEN, L.; TURBBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BOGAART, P. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transport at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.40, p.177–188, 2015.
- CAMPAGNOLO, K.; KOBIYAMA, M.; FAN, F. M. Panorama geral sobre estudos da influência dos detritos lenhosos na dinâmica de rios do mundo e do Brasil. **Ciência e Natura**, v.42, e62, 2020.

CHAUDHARY, M. T.; PIRACHA, A. Natural Disasters – Origins, Impacts, Management. Encyclopedia, v.1, p.1101–1131, 2021.

CORSEUIL, C.W.; DAGOSTIN, F. S.; VASCONCELLOS, S. M.; *et al.* Importância do curso de capacitação sobre redução de desastres hidrológicos (inundação, deslizamento e fluxo de detritos): monitoramento e modelagem. In: Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (2019, Foz do Iguaçu), 2019. 10p.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential.** NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report, 1998. 29p.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. **Water Resources Research**, v.6, p.478-490, 1970a.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. **Water Resources Research**, v.6, p.1296-1311, 1970b.

FAGUNDES, M. R.; KOBAYAMA, M.; FAN, F. M.; *et al.* Hydrological forecasting with HEC-RTS: Case study of Boi River trail, southern Brazil. In: MAGNORI JÚNIOR, L.; *et al.* (orgs.) **Ensino de geografia e a redução do risco de desastres em espaços urbanos e rurais.** São Paulo: Centro Paula Souza, 2022. p.602-624.

FAGUNDES, M. R.; ABATTI, B. H.; PAUL, L. R.; *et al.* Capacitação de servidores públicos para mapeamento de área de risco com modelagem computacional: ação do GPDEN/IPH. In: **Anais do III END – Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro (2023, Niterói)**, 2023. 4p.

FEMA Guidelines and specifications for flood Hazard mapping partners. In: **Vol. 1 Flood Studies and Mapping.**, 1–26, 2003. Disponível em: http://www.fema.gov/fhm/dl_cgs.shtm. Acessado em: abril 2019.

FRYIRS, K. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.38, p.30–46, 2013.

GROISSMAN, P.; KNIGHT, P.; EASTERLING, D.; *et al.* Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v.18, p.1326-50, 2005.

HEWLETT, J. D. Watershed management. In: **Annual Report 1961**, USDA Forest Service Report, Asheville: Southern Forest Experiment Station, p.61-66, 1961.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Transactions American Geophysical Union**, v.14, p.446-460, 1933.

KOBAYAMA, M.; FANCK, A. G. Proposal of Hazard Connectivity Index for debris flow disaster management. In: Proceedings of 8th Debris Flow Hazard Mitigation Conference (2023, Torino), 2023. 3p.

- KOBIYAMA, M.; PAUL, L. R. Fluxos de detritos: Casos mundiais e brasileiros. *In: CABRAL, V. C.; REIS, F. A. G. V.; GRAMANI, M. F.; et al. (orgs.) Corridos de detritos no Brasil*. Belo Horizonte: Federação Brasileira de Geólogos – FEBRAGEO, 2022. p.35-44.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F.; MONTEIRO, L. R. Integração das ciências e das tecnologias para redução de desastres naturais: Sócio-hidrologia e sócio-tecnologia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n. esp., p. 206-231, 2018.
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Relação entre desastres naturais e floresta. **Revista GeoNorte**, v.1, p.17-48, 2012.
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Proposal of debris flow disasters management in Brazil based on historical and legal aspects. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.11, n.3, p.85-93, 2019.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F.; FAN, F. M.; et al. Abordagem integrada para gerenciamento de desastres em região montanhosa com ênfase no fluxo de detritos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n. esp., p.31-65, 2018.
- KOBIYAMA, M.; CAMPAGNOLO, K.; MENEZES, D.; PAIXÃO, M. A. Manejo da zona ripária para redução de risco de desastres no ambiente montanhoso. *In: MAGNONI JR, L.; et al. (orgs.) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. 2. ed. São Paulo: CPS, 2020a. p.764-794.
- KOBIYAMA, M.; VANELLI, F. M.; OLIVEIRA, H. U.; et al. Uso da bacia-escola na redução do risco de desastres: uma abordagem socio-hidrológica. *In: MAGNONI JR, L.; et al. (orgs.) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. 2. ed. São Paulo: CPS, 2020b. p.560-583.
- LAMONTAGNE, M. An overview of some significant eastern Canadian earthquakes and their impacts on the geological environment, buildings and the public. **Natural Hazards**, v.26, p.55–67, 2002.
- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v.29, p.2241-2255, 2009.
- MICHAELIDES, K.; CHAPPELL, A. Connectivity as a concept for characterising hydrological behavior. **Hydrological Processes**, v.23, p.517–522, 2009.
- NAKATANI, K.; WADA, T.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. Development of “Kanako 2D (Ver.2.00),” a user-friendly one-and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.1, p.62-72, 2008.
- PHILLIPS, R. W.; SPENCE, C.; POMEROY, J. W. Connectivity and runoff dynamics in heterogeneous basins. **Hydrological Processes**, v.25, p.3061–3075, 2011.

POEPPL, R. E.; POLVI, L. E.; TURNBULL, L. (Dis)connectivity in hydro-geomorphic systems – emerging concepts and their applications. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.48, p.1089-1094, 2023.

PRICE, M. F.; BYERS, A. C.; FRIEND, D. A.; KOHLER, T. (eds.) **Mountain Geography: Physical and Human Dimensions**. Berkeley: University of California Press, 2013. 400p.

PRINGLE, C. M. Hydrologic connectivity and the management of biological reserves: a global perspective. **Ecological Applications**, v.11, p.981–998, 2001.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; *et al.* HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3469–3481, 2008.

SCHEUREN, J. M.; WAROUX, O. P.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. **Annual Disaster Statistical Review: The Numbers and Trends 2007**. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 2008. 47p.

SKOULIKIDIS, N. TH. Mountainous areas and river systems. *In*: DIMITRIOU, E; PAPADAKI, C. (Eds.) **Environmental Water Requirements in Mountainous Areas**. Amsterdam: Elsevier, 2021. p.1-50.

TACHINI, M.; KOBIYAMA, M.; FRANK, B. Descrição do desastre: as enxurradas. *In*: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (orgs.) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, p.92-101, 2009.

TURNBULL, L.; *et al.* Connectivity and complex systems: learning from a multi-disciplinary perspective. **Applied Network Science**, v.3, p.1-49, 2018.

USBR and ERDC - U.S. Bureau of Reclamation; U.S. Army Engineer Research and Development Center. **National Large Wood Manual: Assessment, Planning, Design, and Maintenance of Large Wood in Fluvial Ecosystems: Restoring Process, Function, and Structure**. Boice: USBR, 2016. 628p.

VASCONCELLOS, S. M.; KOBIYAMA, M.; DAGOSTIN, F. S.; *et al.* Flood Hazard Mapping in Alluvial Fans with Computational Modeling. **Water Resources Management**, v.35, p.1463–1478, 2021.

VOUTSA, V.; *et al.* Two classes of functional connectivity in dynamical processes in networks. **Interface**, v.18, 20210486, 2021.

WARBURTON, J. Mountain Environments. *In*: PERRY, C.; TAYLOR, K. (eds.) **Environmental Sedimentology**. Oxford: Blackwell, 2007. p.32-74.

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment. **Geomorphology**, v.351, Article 106962, 2020.

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; *et al.* Spatial-temporal assessment of water and sediment connectivity through a modified connectivity index in a subtropical mountainous catchment. **Catena**, v.204, 105380, 2021.

ZANANDREA, F.; KOBAYAMA, M.; MICHEL, G. P.; *et al.* (orgs.) **Desastres e água: eventos históricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRHidro, 2023. 398p.

**Gestão da segurança de barragens de concreto
com processo de degradação por reações
expansivas em evolução: inspeção,
diagnóstico e prognóstico por
modelamento numérico**

Marcelo Henrique Farias de Medeiros

Lineu José Pedroso

Maryangela Geimba de Lima

A segurança de barragens é um campo de forte importância estratégica nacional, uma vez que se trata da manutenção da principal matriz energética brasileira. Esta pesquisa teve como foco contribuir para o avanço na fronteira do conhecimento no tema relacionado com a gestão da segurança de barragens de concreto com processo de deterioração por reações expansivas em evolução, tratando o desenvolvimento e domínio de técnicas de Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico. Além disso, o projeto também investigou meios de mitigar os efeitos das fissuras por reações expansivas em barragens de concreto, gerando o conhecimento necessário para potencializar o uso e prolongar o tempo de vida útil destas importantes obras para o funcionamento das cidades brasileiras. Como resultados do projeto foram executados avanços no entendimento das reações expansivas, foi elaborado um protocolo de tomada de decisões sobre a manutenção de barragens com a interpretação de dados de técnicas de inspeção de obras em condições de operação. Ao que se refere à mitigação dos processos de deterioração, foram alcançados alguns avanços sobre a tecnologia de concretos auto cicatrizantes e sobre o uso de sistemas de proteção de superfície para intervir na cinética de expansão.

Palavras-chave: segurança de barragens; concreto; reações expansivas; durabilidade; vida útil.

As barragens são edificações de grande importância para a infraestrutura das cidades, pois permitem o abastecimento, a irrigação, a produção de energia, o controle de cheias, entre outros aspectos. Por razões técnicas e econômicas, agregados locais costumam ser utilizados na construção de barragens de concreto, contudo, a qualidade e a composição mineralógica desses podem dar origem a reações expansivas deletérias durante a vida útil da estrutura, podendo comprometer a segurança ou afetar as operações diárias das unidades geradoras de energia.

Nessas estruturas, as reações expansivas oriundas de agregados potencialmente reativos como a álcali-sílica (RAS) e o ataque interno por sulfatos (RSI) são consideradas as mais preocupantes, pois sua cinética de reação ainda não é inteiramente compreendida, ocorrendo, geralmente, de forma lenta e não homogênea nas estruturas. Além disso, não existem métodos efetivos para sua mitigação quando já instaladas em obras existentes e têm grande ocorrência em obras de infraestrutura, como barragens, devido à presença constante de umidade. As tensões internas ocorridas nos elementos de concreto, causadas por reações expansivas, contribuem para a redução do módulo de elasticidade, da resistência à flexão e à compressão, além de ativar/intensificar outros processos de deterioração do concreto devido à propagação de fissuras, facilitando, assim, a penetração de agentes agressivos.

Em termos simples, a reação álcali-sílica (RAS) no concreto é uma reação química entre a sílica amorfa presente em certos agregados e íons presentes na solução de poros do concreto (OH^- , Na^+ e K^+), formando um gel que, na presença de água, torna-se expansivo. O ataque interno de sulfatos, também conhecido como Reação Sulfática Interna (RSI), é um tipo de reação expansiva menos frequente que a reação álcali-sílica. As fontes internas de sulfatos podem ser o cimento, a água de amassamento ou agregados con-

tendo sulfetos (pirrotita, pirita, calcopitita e marcassita) que, ao oxidarem, originam íons sulfatos que reagem com os constituintes da pasta cimentícia (Portlandita e C-S-H), gerando produtos com potencial expansivo, como gipsita e etringita.

Nesse sentido, a correta avaliação dos agregados é essencial para prevenir que reações expansivas ocorram nos elementos de concreto, uma vez que, após a ocorrência, não existem soluções que possam cessar por completo o dano causado. O estudo prévio dos agregados em laboratório e a utilização de medidas preventivas, detalhadamente especificadas pela norma ABNT NBR 15577-1, no caso da RAS, são facilmente aplicáveis na prevenção desses mecanismos de deterioração do concreto. Ao contrário, se tais ações forem negligenciadas, haverá necessidade de intervenção nas barragens e seu monitoramento para detecção de deformações e deslocamentos no maciço. O monitoramento do comportamento estrutural pode detectar anomalias a tempo, permitindo a implementação de ações mais eficientes de manutenção e reparo. Além disso, o correto diagnóstico dessas estruturas impacta diretamente nos custos operacionais de manutenção das plantas.

Nesse contexto, esta pesquisa pretende contribuir diretamente para o avanço na fronteira do conhecimento no tema relacionado ao efeito de reações expansivas na estrutura interna do concreto, investigando suas consequências na durabilidade e vida útil das usinas geradoras de energia (especificamente UHEs e PCHs). Esse é um tema primordial para a segurança e a qualidade de vida da humanidade, na atualidade e no futuro distante, uma vez que trata de edificações de grande porte e que atendem à população em larga escala, além de serem obras patrimônio da população e que se espera longo período de vida útil, evitando acidentes e prejuízos à vida do ser humano e ambientais.

A estratégia foi a de desenvolver pesquisas que considerem a ciência dos materiais de construção, entendendo os processos de deterioração e os fatores de influência que, com ele interagem, para dar suporte ao trabalho de modelamento numérico das tensões internas nas barragens e previsão de possíveis consequências. Também fez parte da estratégia da pesquisa, desenvolver uma ferramenta de priorização de intervenção em obras acometidas pelo mecanismo

gerador de expansão no concreto do corpo das barragens, assim como áreas a intervir prioritariamente em uma mesma UHE ou PCH.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um avanço no conhecimento e na montagem de procedimentos para aplicação de técnicas de Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico de UHEs e PCHs de concreto em processo de deterioração por reações expansivas em evolução e propor um método de definição de prioridade de intervenção para UHEs e PCHs para a gestão de reabilitação de barragens de concreto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Desenvolver técnicas de inspeção e diagnóstico para os processos de reações expansivas: 1 – Reação sulfática interna; 2 - Reação álcali-agregados, que são os principais geradores de expansão e fissuras em obras de UHEs e PCHs de concreto.
- II. Investigar o potencial de mitigação da RAA e da RSI, desenvolvendo concretos auto cicatrizantes e sistemas de proteção de superfície que possam gerar aumento de tempo em serviços das UHEs e PCHs de concreto.
- III. Desenvolver método de definição de prioridades de reabilitação focado no caso de uma gestora de obras de barragens que necessite priorizar obras a serem recuperadas dentro de um conjunto de UHEs e/ou PCHs que esteja sob sua gerência.
- IV. Desenvolver método de definição de prioridades de reabilitação focado no caso de um Engenheiro que necessite fazer avaliação global de barragem e montar estratégia de definição de quais blocos/elementos de uma barragem deva ser priorizado em uma recuperação por partes.

IMPACTOS

Avanço do estado da arte na área do conhecimento da linha de pesquisa

1. SOBRE TESTES EM AGREGADOS PARA CONCRETO EM CONDIÇÕES POTENCIAIS DE DESENVOLVER REAÇÃO SULFÁTICA INTERNA (RSI):

Mesmo que diversos estudos tenham sido realizados nas últimas décadas, a cinética das reações expansivas ainda não é inteiramente compreendida e muitas são as lacunas que necessitam de investigações mais aprofundadas. Convém frisar que ainda não existem técnicas consagradas disponíveis para avaliação da presença de minerais reativos em agregados em um ensaio de curto prazo de forma dissociada do concreto - sem que haja interferências do tipo de cimento usado, sua composição química, métodos de moldagem, cura e instrumento de medição. Essas características variam em cada laboratório e país, influenciando as leituras realizadas. Nessa lacuna de conhecimento, a equipe conseguiu trabalhar no desenvolvimento de um método de ensaio focado em testar o agregado de forma isolada quanto à possibilidade de provocar expansão por RSI. Neste processo de pesquisa, a proposta foi de um ensaio em determinada quantidade de amostra do agregado colocado dentro de um becker com uma solução e, nesse sentido, foram testadas variações no ensaio, como a temperatura, o tipo e o tempo de agitação, o tipo de solução de exposição e o efeito do tamanho das partículas do agregado a ser testado.

É interessante pontuar que este ensaio foi conduzido para testar um agregado contaminado com pirita e outro com pirrotita. Os resultados foram satisfatórios, obtendo-se um método proposto para testar a propensão de um agregado a desenvolver problemas de Reação Sulfática Interna (RSI) se aplicado na construção de barragem. Publicado na tese de doutorado de Gobbi (2019), este trabalho encontra-se em fase de escrita de artigo divulgando essa proposição. Destaca-se que a pesquisa do doutorado de Capraro (2019) também produziu alguns avanços sobre testes nos agregados com foco em detectar problemas de RSI. Além disso, um teste para ser realizado em compósitos cimentícios para

investigar a propensão ao desenvolvimento de RSI em corpos de prova do agregado em contato com o cimento Portland, foi desenvolvido no trabalho de doutorado de Calvo Valdés (2023).

II. SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA REAÇÃO SULFÁTICA INTERNA (RSI):

A tese de doutorado de Capraro (2019) evidenciou a relação entre o grau de contaminação e a formação do composto expansivo denominado etringita dentro dos poros do concreto (CAPRARO, HOPPE FILHO e MEDEIROS, 2021). Esse tipo de caracterização é importante para consolidar a sistematização do entendimento sobre o processo de desenvolvimento de RSI.

A Figura 1-A mostra que a série Ref. (0,0%) apresenta, aos 360 dias de idade, poros livres em seu interior. Por outro lado, a série contaminada com pirita, denominada SO_3 (0,5%), Figura 1-B, apresenta alguns cristais aciculares de etringita no interior do poro. No caso das séries contaminadas, denominadas SO_3 (1,0%) (Figura 1-C) e SO_3 (5,0%) (Figura 1-D), os poros apresentam preenchimento por cristais de etringita aparentemente próximo do ponto de saturação do espaço existente.

Comprovou-se, assim, que quanto maior o teor de pirita no agregado, maior a formação de etringita que preenche a rede de poros do concreto. Esse mecanismo de formação é evolutivo e proporciona a geração posterior de fissuras, quando falta espaço para acomodar a etringita que vai se formando e acumulando da rede de poros do concreto.

Também seguindo o tema do entendimento e da caracterização do processo de RSI, a tese de doutorado de Capraro (2019), mediante simulação numérica em método dos elementos finitos, analisou a movimentação de uma barragem, Figura 2, quando submetida ao desenvolvimento de RSI. Com base no trabalho de Campos, Lopes e Aguado (2016) e Campos *et al.* (2018), essa modelagem considerou a ocorrência do ataque em uma camada de cerca de 1,5 m de profundidade na face de jusante, pois as reações dependem do acesso de oxigênio nesta região. O modelo demonstrou que a potencial contaminação de 5% de SO_3 nos agregados, pode gerar deslocamento horizontal superior a 60 cm no

topo da barragem, no sentido contrário ao deslocamento gerado somente pelas cargas do empuxo hidrostático.

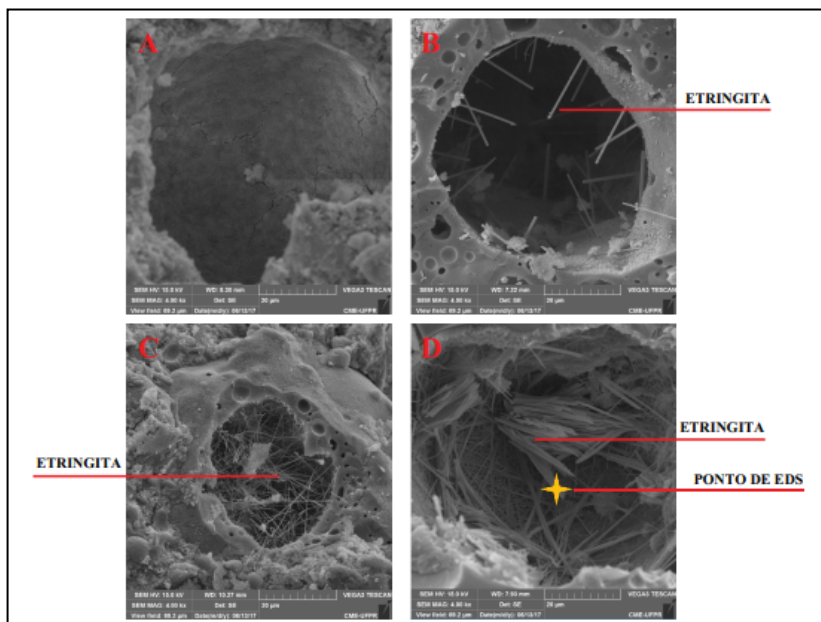


Figura 1. Preenchimento dos poros em função do teor de contaminação, aos 360 dias de idade. A – Série Ref. (0,0%); B – Série SO_3 (0,5%); C – Série SO_3 (1,0%); D – Série SO_3 (5,0%) (CAPRARO, 2019; CAPRARO, HOPPE FILHO e MEDEIROS, 2021).

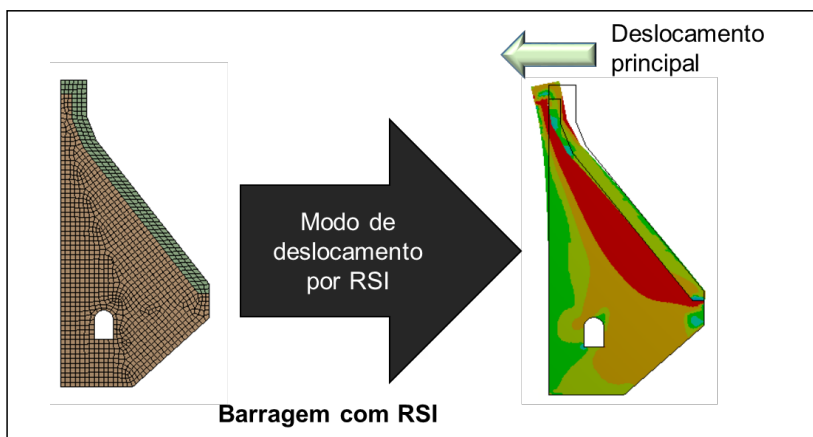


Figura 2. Modelo de movimentação de barragem por desenvolvimento de Reação Sulfática Interna (RSI) (CAPRARO, 2019 e MACIOSKI *et al.*, 2023).

Outra constatação importante das pesquisas desenvolvidas neste projeto tem relação com a ocorrência de RSI concomitante com a reação álcali-agregado (RAA), que pode vir a ocorrer em uma barragem de concreto. Na verdade, é comum a ocorrência de reações deletérias de forma combinada, envolvendo os dois processos RAA e RSI, o que dificulta o diagnóstico e prognóstico destas estruturas.

Nesse contexto, técnicas de microscopia como o MEV (microscopia eletrônica de varredura) e a DRI (*damage rating index*) auxiliam na identificação de diferentes reações deletérias, uma vez que é possível verificar o local da reação (pasta ou borda de agregados) e seu avanço no concreto (tipo de produto formado e avanço na amostra). No caso, o avanço na fronteira do conhecimento ocorreu no desenvolvimento do doutorado de Gobbi (2019), no que se refere à inspeção da barragem de Graus, na Espanha. Essa barragem é um caso de obra real, em que existe de forma simultânea o desenvolvimento de RSI e RAA. A Figura 3 é uma imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura e representa cristais aciculares de etringita (gerada por RSI) envoltos por gel de RAA. Ela demonstra que, primeiramente, ocorre a RSI com a formação da etringita e, posteriormente, ocorreram as reações de RAA, formando o gel que envolve os cristais de etringita. Essa é uma prova importante que a cinética do processo de RSI é mais lenta do que a do processo de RAA.

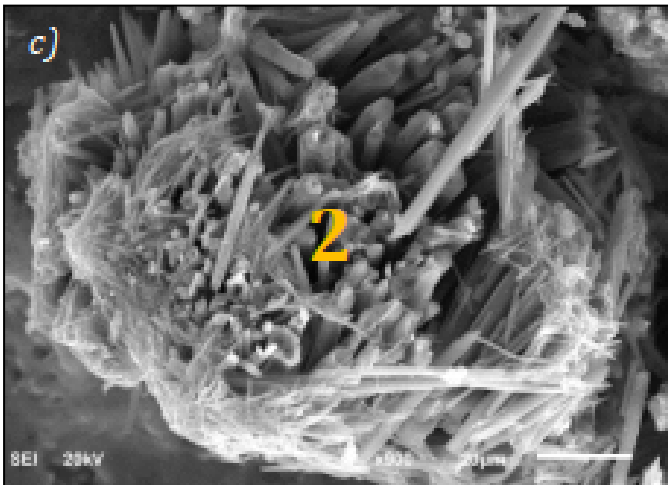


Figura 3. Imagem de etringita formada e posteriormente envolta por gel de RAA (GOBBI, 2019).

III. SOBRE O AVANÇO COM A IMPLEMENTAÇÃO DE NOVAS TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO DE REAÇÕES EXPANSIVAS NO CONCRETO:

Como resultado da interação com o Professor Leandro Sanchez (da Universidade de Ottawa, Canadá), possibilitou-se a implementação de duas técnicas de investigação de danos no concreto provocados por reações expansivas. O recurso do projeto foi usado para viabilizar parte dos ensaios necessários para a transferência dessa tecnologia. Os membros do grupo que atuaram para implantar os referidos ensaios na UFPR foram o doutorando Gustavo Macioski (que finaliza o doutorado no final de 2023) e a Dra. Eloise Langaro (que defendeu doutorado no primeiro semestre de 2023). As duas técnicas de investigação estão registradas a seguir:

Stiffness Damage Test – SDT: o resultado do SDT expressa as características mecânicas do concreto, ou seja, conforme as expansões causadas pela RAA avançam, as fissuras também aumentam, diminuindo o módulo de elasticidade e a resistência à tração dele (SANCHEZ *et al.*, 2017). A Figura 4 mostra o ensaio de SDT sendo executado no LaME-UFPR, e mostra também um resultado de saída do ensaio de SDT, no qual são calculados os parâmetros denominados Índice de Perda de Rigidez (SDI – *stiffness damage index*) e Índice de Deformação Plástica (PDI – *plastic deformation index*). Esses parâmetros são traduzidos como a relação de energia dissipada sobre a energia total aplicada na amostra, assim como, a relação da deformação plástica sobre a deformação total aplicada no sistema, respectivamente.

No Brasil, essa técnica de avaliação foi divulgada por Sanchez *et al.* (2017), em um trabalho de colaboração Brasil-Canadá e, atualmente, o *Stiffness Damage Test* (SDT) está registrado como um documento de Instrução Técnica de FURNAS (HASPARYK; SANCHEZ, 2021). Esse é mais um avanço nacional, de modo que as pesquisas brasileiras devem aplicar o SDT com maior frequência nas pesquisas de reações expansivas no concreto.

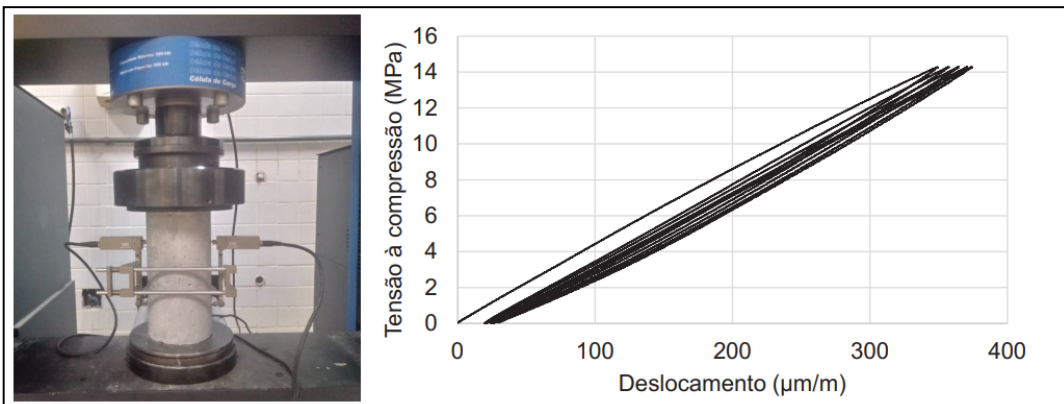


Figura 4. Ensaio de SDT, corpos de prova com extensômetro e gráfico gerado com a aplicação de carregamentos e descarregamentos sucessivos (LANGARO, 2023).

Damage Rating Index – DRI: o índice de classificação de danos (DRI) é um método que serve como parâmetro para fornecer uma medida semiquantitativa da extensão dos danos no concreto. Para tanto, os corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm) são cortados em duas metades longitudinalmente utilizando uma serra para concreto. Após o corte, uma das partes do corpo de prova é polida com o auxílio de uma politriz e diferentes discos, com gramaturas grossas e finas (100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1500 e 3000) para obtenção de um polimento suave. O polimento adequado aos ensaios ocorre quando a superfície do corpo de prova apresenta aspecto espelhado. Com o polimento realizado, os corpos de prova são marcados com uma grade de 1 cm por 1 cm, formando, assim, em torno de 200 quadrados.

Para esse tipo de análise, é utilizado um microscópio ótico, com capacidade de ampliação de 16x. Em cada quadrado (1 x 1 cm) marcado, são observadas, contadas e demarcadas as características petrográficas presentes, associadas com a reação expansiva foco de investigação. As características são classificadas de acordo com o trabalho de Sanchez *et al.* (2015), que apresenta uma tabela com ponderações, dependendo do tipo de dano apresentado. O valor final obtido é normalizado para 100 cm², e quanto maior for o número obtido no DRI, maior a deterioração causada pela reação deletéria. A Figura 5 mostra o ensaio sendo executado para o desenvolvimento da pesquisa.

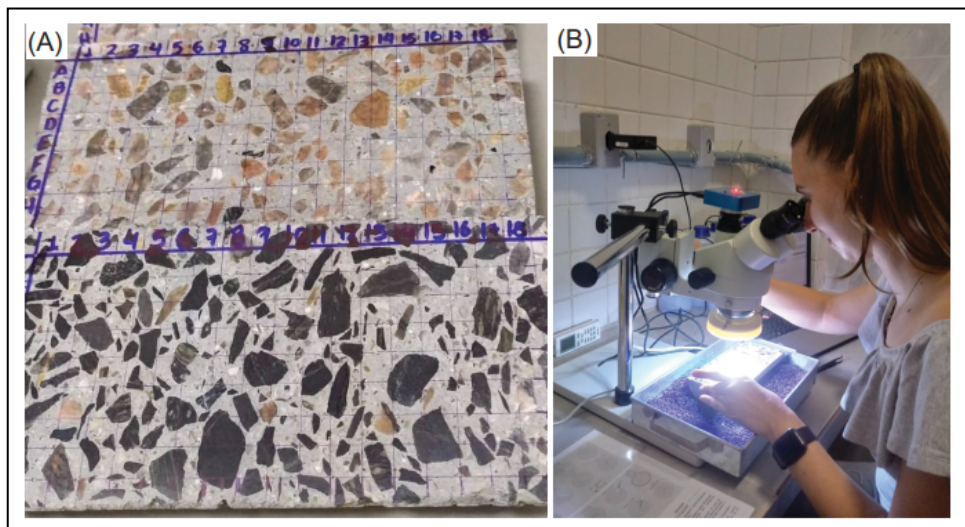


Figura 5. Ensaio de DRI (A) corpos de prova cortados, polidos e com as marcações de quadriculas de 1x1 cm; (B) Avaliação executada com o microscópio ótico (LANGARO, 2023).

Vale destacar que o grupo de pesquisa deste projeto teve importante interação com o Professor Sérgio Cavalaro, que, no início do projeto, atuava como docente na Universidade Politécnica da *Cataluña* (UPC), na Espanha, mas que, no meio do projeto, passou a atuar como docente na Universidade de *Loughborough*, na Inglaterra. Essa interação proporcionou o desenvolvimento do doutorado de Andressa Gobbi, orientada pelo Professor Sérgio Cavalaro e coorientada pelo Professor Marcelo Medeiros, coordenador deste projeto de pesquisa.

Nesse trabalho de doutoramento, foi desenvolvido um protocolo de atuação em barragens com reação sulfática interna. Além disso, também houve transferência de metodologia de avaliação de barragens de concreto com reações expansivas, apoiadas no monitoramento da movimentação do corpo da barragem, com base na experiência de algumas décadas de monitoramento de barragens com problemas crônicos de reações expansivas, pelo grupo de pesquisa da Universidade Politécnica da *Cataluña* (UPC), Espanha.

Nessa linha de atuação, a Figura 6 mostra as curvas que ilustram a evolução dos deslocamentos horizontais e verticais esperados na crista de uma barragem, em função do RSI (Figura 6 a e b) e da RAA (Figura 6 c e d). Esses modelos

são baseados no trabalho realizado por Campos (2012) em relação ao RSI e por Ulm *et al.* (2000) sobre o RAA. Entendendo esses modelos de deslocamentos, é possível traçar paralelos, com o monitoramento de barragens reais no Brasil, um tema importante de ser aprofundado para o aprimoramento das avaliações sobre segurança de barragens.

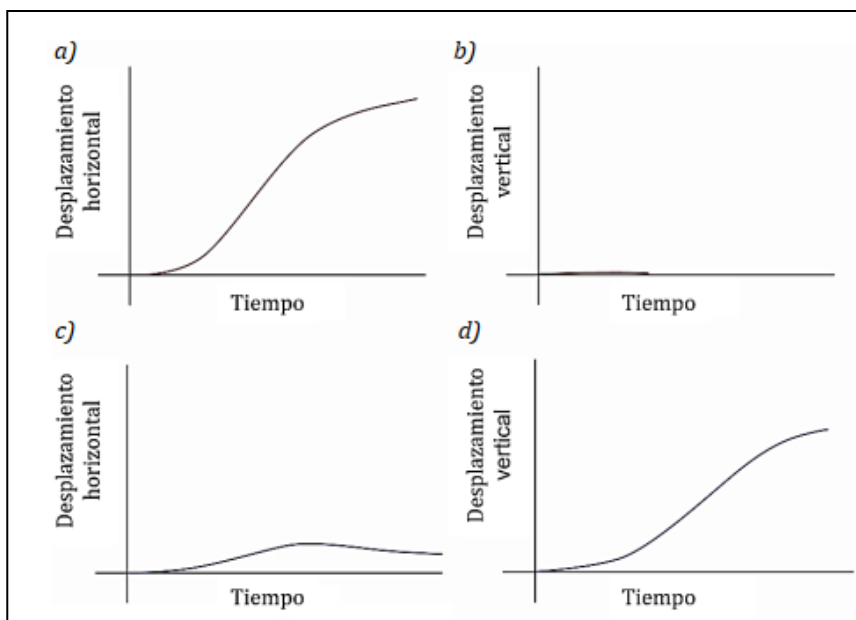


Figura 6. Deslocamentos horizontais e verticais – a) e b) comportamento típico de RSI; c) e d) comportamento típico de expansão por RAA (GOBBI, 2019).

IV. SOBRE O MONITORAMENTO DO CONCRETO COM REAÇÕES EXPANSIVAS USANDO SENSORES DE FIBRA ÓTICA:

No que diz respeito ao desenvolvimento de sensores para o monitoramento de reações expansivas, Macioski *et al.* (2020) utilizaram o sinal refletido por uma rede de Bragg inscrita com LASERS no núcleo de fibras óticas (Figura 7) para medir a temperatura e a deformação de amostras de concreto afetadas por Reação Álcali-agregado (RAA). O sensor desenvolvido apresentou precisão elevada, sem diferença significativa, quando comparado com sensores eletrônicos (*strain gauge*).

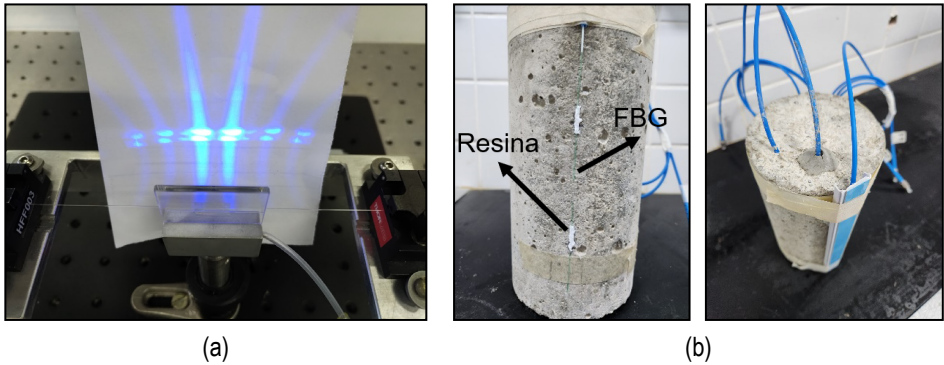


Figura 7. (a) Processo de fabricação de sensores em fibra ótica e (b) amostras com sensores óticos na superfície e no interior do concreto.

A partir dos resultados obtidos foi possível verificar uma correlação de 97% entre as leituras realizadas com o sensor ótico e as medidas realizadas no pórtico de expansão. As medidas internas na amostra indicaram expansão similar na matriz de argamassa e os agregados apresentaram expansão aproximadamente 5 vezes inferior àquelas registradas na superfície da amostra. Os resultados obtidos foram coerentes com a avaliação por técnicas complementares, como Stiffness Damage Test (SDT) e Damage Rating Index (DRI), em que se verificou que o concreto degradado apresentou aumento de 100% na deformação plástica durante carregamento, além de elevado grau de fissuras nos agregados (Figura 8a), na pasta (Figura 8b) e precipitação de gel nos poros (Figura 8c).

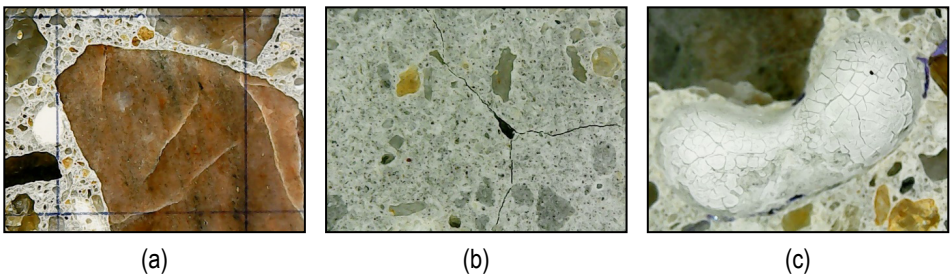


Figura 8. Avaliação da microestrutura do concreto submetido ao processo de reações expansivas denominado Reação Álcali-agregado (RAA).

V. SOBRE OS AVANÇOS RELACIONADOS AOS CONCRETOS AUTO CICATRIZANTES E SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIE PARA AUMENTAR O TEMPO EM SERVIÇOS DAS UHES E PCHS DE CONCRETO:

O trabalho de Eloise Langaro (2023) abordou o emprego de sistemas de tratamento de superfície para tentar reduzir os efeitos da RAA. Foram utilizados dois tipos de silicatos de etila, ambos os tratamentos com propriedades hidrofugantes e de tamponamento de poros na camada mais externa do concreto. Os resultados indicaram melhoras muito pequenas de modo que o tratamento de superfície com esses materiais não se mostrou promissor. Contudo, o espectro de possibilidade de materiais para o tratamento da superfície do concreto é grande. Desse modo, estudos abordando outros tipos de produtos são ainda recomendados.

Sobre a produção de concreto auto cicatrizante foram abordados dois caminhos: primeiro o de utilizar bactérias como a *Lysinibacillus sphaericus*, que são formadoras de carbonato de cálcio, composto capaz de fechar fissuras existentes no concreto. Nesse tema, pode-se afirmar que foi possível viabilizar caminhos para cicatrizar o concreto, porém, nesse projeto de pesquisa, não foi possível realizar testes em concretos propensos a desenvolver as reações expansivas.

O segundo caminho para produzir concreto auto cicatrizante foi o denominado método autógeno, que se refere à capacidade de o concreto aumentar a densidade da sua microestrutura e fechar fissuras pela habilidade do material cimentício de formar precipitações de carbonato de cálcio e de silicato de cálcio hidratado ao longo do tempo de interação com o meio ambiente. Essa capacidade de cicatrização depende da composição do concreto e das condições ambientais, podendo causar o fechamento de fissuras variando de $5\ \mu\text{m}$ a $300\ \mu\text{m}$ de espessura (SAHMARAN *et al.*, 2008). As atividades de pesquisa desenvolvidas nesse experimento indicaram efeito auto cicatrizante no concreto submetido ao processo de RAA. Porém, a eficiência desse efeito ao longo do processo de deterioração, com o aumento das fissuras, é algo ainda não estudado.

Deve-se destacar que a implantação tecnológica necessária para desenvolver um concreto auto cicatrizante e as investigações sobre reações expansivas no

concreto demandam tempo de monitoramento da ordem de dois anos cada. Desse modo, foram produzidos avanços nos dois campos (concretos auto cicatrizantes e estudos sobre reações expansivas), mas não foi possível investigar com relação ao potencial de mitigar a RAA e a RSI.

AVANÇO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO

A pesquisa contribuiu para a gestão das barragens, tanto relacionada ao cenário de uma gestora de um conjunto de UHEs e PCHs que necessita decidir quais as obras mais críticas e em quais a intervenção deve ser tomada como prioritária em relação a outras, como no cenário de um engenheiro que pretende gerir uma intervenção em uma UHE ou uma PCH, mas que precisa decidir os pontos prioritários em termos de iniciar uma intervenção emergencial (Exemplo: qual ou quais dos blocos de uma barragem devem ter implantação de sistema de recuperação de forma prioritária em relação a outros, otimizando os recursos físicos e financeiros destinados nas etapas de manutenção e recuperação).

Para o desenvolvimento desta parte do estudo, foi aplicada a técnica de tomada de decisão chamada Análise Hierárquica, ou Analytic Hierarchic Process (AHP). Essa técnica tende a sistematizar decisões complexas, em que muitos fatores precisam ser considerados ao mesmo tempo para decidir em qualquer campo do conhecimento.

Na Engenharia Civil, a AHP tem sido utilizada quando há necessidade de fazer escolhas, como, por exemplo: usar agregados reciclados ou naturais para produção de concreto e argamassas (PEREIRA *et al.*, 2012; MATTANA *et al.*, 2012), escolha entre materiais para reforço ou reparo de estruturas (PERELLES *et al.*, 2013; RAISDORFER; MEDEIROS, 2013), decidir os locais para implantação de barragens de rejeito (LOZANO, 2006), encontrar alternativas mais adequadas para o tratamento de resíduos sólidos domiciliares (MARCHEZETTI, 2011) ou na determinação do processo de orçamento de edifícios públicos (YU-TING *et al.*, 2007). O método baseia-se em três etapas de pensamento analítico (COSTA, 2002; PEREIRA *et al.*, 2012; OMKARPRASAD e KUMAR, 2006): i - construção de hierarquias (definindo alternativas e critérios para a tomada

de decisão); ii - definição de prioridades e; iii - consistência lógica do modelo de priorização. Dentro do contexto apresentado, argumenta-se que a pesquisa contribuiu muito para o campo da Segurança de Barragens, pois serve de ponto de partida para aglutinar especialidades com o foco de desenvolver e aprimorar métodos de avaliação de barragens de concreto, aliando estudo de materiais e estruturas, com a modelagem numérica.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Foram concluídas 5 dissertações de mestrado, 5 teses de doutorado, 1 treinamento de Pós-Doutorado. A produção científica totalizou 16 artigos científicos publicados em revistas científicas. Outros trabalhos estão em processo de desenvolvimento de modo que outras publicações irão ser divulgadas.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

GUSTAVO BORTOLAN RIVAROLA. Estudo comparativo de técnicas de mensurar a resistividade elétrica no concreto e sua relação com a durabilidade.

EMANOEL CUNHA ARAÚJO. Eficiência de argamassas de reparo com nano materiais: propriedades mecânicas, durabilidade e com microestrutura.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/81749>

MATEUS EDILSON GOMES DOBROVOLSKI. Ataque interno por sulfato em argamassas de cimento Portland: efeito de adição cristalizante e microfibras de polipropileno.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/73279>

GUILHERME DA SILVA MUNHOZ. Efeito da autocicatrização de argamassas na reação álcali-agregado.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/67556>

ISAAC AGUIAR OLIVEIRA. Estudo de microorganismos passíveis de utilização como agente de cicatrização em materiais de base cimentícia.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/64139>

DOUTORADO

ELOISE APARECIDA LANGARO. Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-silica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/83056>

ANALIET CALVO VALDÉS. Ataque interno de sulfatos: parâmetros que influenciam na cinética do processo de degradação do material cimentício.

ANA PAULA BRANDÃO CAPRARO. Ataque interno de sulfatos: Mudanças nas propriedades de compósitos cimentícios.

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/63002>

ANDRESSA GOBBI. Reacciones expansivas internas: estudio de los áridos y hormigón de presas.

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/128184>

GUSTAVO MACIOSKI. Aplicação de sensores em fibra ótica com rede de Bragg na avaliação da reação álcali-agregado.

PÓS-DOUTORADO

ANDRESSA GOBBI. Reações expansivas em concreto de cimento Portland.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

FRARE, A.; LANGARO, E. A.; SOUZA, D. J.; MEDEIROS, M. H. F. Revisão sistemática sobre reação álcali-agregado: panorama comparativo dos estudos realizados no Canadá e no Brasil.

<https://doi.org/10.21041/ra.v13i1.628>

MACIOSKI, G.; LANGARO, E. A.; GOBBI, A.; CAPRARO, A. P. B.; MEDEIROS, M. H. F. Reações expansivas em barragens de concreto causadas por agregados reativos.

<http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2023.109.0006>

CAMANDUCAIA, L. P. M. E.; SANTOS, N. C. S.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. Mitigation potential of sulfate-resistant Portland cement for internal sulfate attack.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s41024-021-00150-1>

MELARA, E. K.; TRENTIN, P. O.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. Contribution to the service-life modeling of concrete exposed to sulfate attack by the inclusion of electrical resistivity data.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126490>

- ARAÚJO, E. C.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M. H. F.** Concrete surface electrical resistivity: Effects of sample size, geometry, probe spacing and SCMs.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126659>
- MUNHOZ, G. S.; DOBROVOLSKI, M. E. G.; NENEVÊ, B. L.; DIAS, R. L.; GODINHO, J. P.; MEDEIROS, M. H. F.** The influence of fly ash and neutral sodium silicate on concretes submitted to sulfuric acid attack.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106673>
- MUNHOZ, G. S.; DOBROVOLSKI, M. E. G.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A.** Effect of improved autogenous mortar self-healing in the alkali-aggregate reaction.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103905>
- DOBROVOLSKI, M. E. G.; MUNHOZ, G. S.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A.** Effect of crystalline admixture and polypropylene microfiber on the internal sulfate attack in Portland cement composites due to pyrite oxidation.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125018>
- LANGARO, E. A.; SANTOS, C. A.; MEDEIROS, M. H. F.; SOUZA, D. J.; PEREIRA, E.** Rice husk ash as supplementary cementing material to inhibit the alkali-silica reaction in mortars.
<https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000400004>
- CAPRARO, A. P. B.; HOPPE FILHO, J.; MEDEIROS, M. H.** Influence of internal sulfate attack on cement paste properties: contamination by pyrite.
<https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000600006>
- MORAES, M. C.; BUTH, I. S.; ANGULSKI DA LUZ, C.; LANGARO, E. A.; MEDEIROS, M. H. F.** Alkali-Activated Cement Subject to Alkali-Aggregate Reaction.
<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&id=51732937>
- CAPRARO, A. P. B.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M. H. F.** Effect of aggregate contamination with pyrite on reinforcement corrosion in concrete.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105116>
- MACIOSKI, G.; SANCHEZ, L.; BAO, X.; MEDEIROS, M. H. F.** Monitoring alkali-aggregate reaction (AAR) induced expansion through the use of fiber Bragg grating sensors.
<http://icaar2020-2022.lnec.pt/downloads.html>
- ADORNO, C. S.; MEDEIROS, M. H. F.; HOPPE FILHO, J.; RÉUS, G. C.** Effects of the addition of red ceramic, limestone filler and rice husk ash in alkali silica reaction.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s41024-017-0030-0>
- ANGULO-RAMÍREZ, D. E.; MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R.; MEDEIROS, M. H. F.** Alkali-activated Portland blast furnace slag cement mortars: Performance to alkali-aggregate reaction.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.183>

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Este trabalho traz informações sobre dois tipos de reações expansivas que podem ocorrer nas estruturas de barragens de concreto, a reação álcali-agregado (RAA) e a reação sulfática interna (RSI). Ambas são reações deletérias em que apenas tratamentos paliativos podem ser aplicados em obras existentes, ou seja, até o momento não existem métodos efetivos que podem cessar a expansão devido à reação. Desse modo, a melhor solução ainda é avaliar o potencial reativo dos agregados antes da construção das barragens de concreto sendo que nossa pesquisa produziu alguns avanços nesse sentido.

A utilização de proteção de superfície com base de silicatos de etila apresentou pouca eficiência na redução dos efeitos da reação álcali-agregado, porém, outros produtos de proteção precisam ser investigados.

O desenvolvimento de concretos auto cicatrizantes é um caminho promissor para reverter alguns níveis de abertura de fissuras por reações expansivas, porém, esse é um tema em desenvolvimento e sua efetividade necessita de estudos mais aprofundados e com mais tempo de avaliação nas condições de exposição a RAA e a RSI.

A utilização da técnica de análise hierárquica se mostrou útil para sistematizar a tomada de decisões quanto aos locais prioritários de intervenção em uma barragem de concreto. O monitoramento de deformações do concreto por reações expansivas usando fibra ótica se mostrou viável e eficiente para a execução de estudos focados no monitoramento de peças de concreto, em termos de deformação por RAA e RSI.

As técnicas de investigação de extensão de danos, denominadas *Damage Rating Index* (DRI) e *Stiffness Damage Test* (SDT), mostraram-se eficientes para avaliar os mecanismos de deterioração em reações expansivas dos experimentos.

PERSPECTIVAS

Apesar do avanço nas pesquisas em relação a cinéticas das reações expansivas no concreto, ainda existem muitas lacunas no conhecimento sobre o tema, materiais a serem entendidos por completo e técnicas promissoras a serem de-

envolvidas e aplicadas. Nas normas vigentes no Brasil sobre esses temas, faltam dados de estruturas reais para melhorar sua aplicação, visto a dificuldade de simulação em laboratório da cinética das reações que ocorrem nas barragens.

Essa área temática das reações expansivas é de primordial importância para a área de segurança de barragens de concreto e novos estudos precisam ser desenvolvidos para melhor fundamentar planos de manutenção preventiva e corretiva nas UHEs e PCHs do Brasil.

Assim, este projeto serviu de estímulo para a formação de um grupo de pesquisa focado em desenvolver novos conhecimentos e efetivar transferência de metodologias de análises de centros de pesquisa internacionais com forte experiência na avaliação de concreto com manifestações patológicas típicas de reações expansivas, como RAA e RSI.

A nucleação deste grupo de estudo certamente irá continuar a sua atuação buscando novos avanços e fontes de financiamento para a continuidade das pesquisas necessárias para a manutenção do desenvolvimento tecnológico requerido para dar suporte a tomadas de decisões no que se refere a barragens que sofrem com as consequências de processos de reações expansivas.

Uma ação considerada necessária pelo grupo de pesquisadores envolvido neste projeto de pesquisa é a criação de campos experimentais ao ar livre, para o monitoramento de concretos em condições reais a serem monitorados quanto ao desenvolvimento de RAA e RSI. A importância desse tipo de estudo de longo prazo é possibilitar a correlação dos resultados de ensaios acelerados, usados para testar o concreto quanto à tendência de desenvolver compostos expansivos, com o comportamento real do concreto em longo prazo de monitoramento.

Esse tipo de estudo é desenvolvido em muitas partes do mundo, com a elaboração e o monitoramento de blocos de concreto em campos experimentais, como o que consta na Figura 9. Na América Latina ainda não existe um campo experimental desse tipo, sendo ele um ponto de necessidade de avanço, pois as cinéticas das reações expansivas são impactadas pelas condições climáticas, se é muito importante que existam alguns campos experimentais em clima tropical, como é o caso do Brasil, de modo a aprimorar as tomadas de decisão quando for necessário elaborar diagnósticos sobre materiais apropriados ou não para a construção de barragens de concreto.

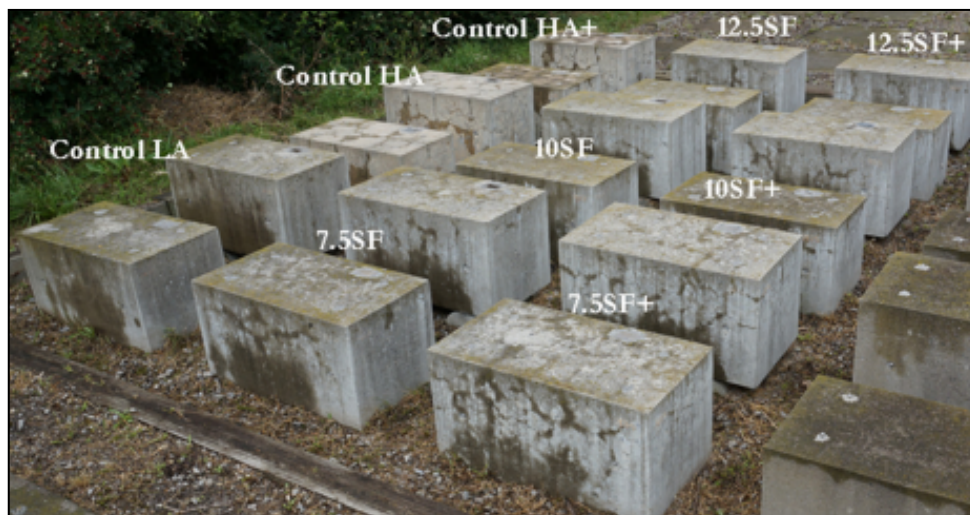


Figura 9. Campo de exposição natural para o monitoramento da Reação Álcali-agregado (RAA) em Ottawa, Canadá (FOURNIER *et al.*, 2016).

REFERÊNCIAS

ADORNO, C. S.; MEDEIROS, M. H. F.; HOPPE FILHO, J.; RÉUS, G. C. Effects of the addition of red ceramic, limestone filler and rice husk ash in alkali silica reaction. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 3, p. 1-11, 2018.

ANGULO-RAMÍREZ, D. E.; MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R.; MEDEIROS, M. H. F. Alkali-activated Portland blast furnace slag cement mortars: Performance to alkali-aggregate reaction. **Construction and Building Materials**, v. 179, p. 49-56, 2018.

ARAÚJO, E. C. **Eficiência de argamassas de reparo com nano materiais: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2022.

ARAÚJO, E. C.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M. H. F. Concrete surface electrical resistivity: Effects of sample size, geometry, probe spacing and SCMs. **Construction and Building Materials**, v. 324, p. 126659, 2022.

CALVO, A. **Ataque interno de sulfatos: parâmetros que influenciam na cinética do processo de degradação do material cimentício.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 178 p. 2023.

CAMANDUCAIA, L. P. M. E.; SANTOS, N. C. S.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. Mitigation potential of sulfate-resistant Portland cement for internal sulfate attack. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 7, p. 11, 2022.

CAMPOS, A.; LOPEZ, C. M.; BLANCO, A.; AGUADO, A. Effects of an internal sulfate attack and an alkali-aggregate reaction in a concrete dam. **Construction and Building Materials**, v. 166, p. 668-683, 2018.

CAMPOS, A.; LÓPEZ, C. M.; AGUADO, A. Diffusion–reaction model for the internal sulfate attack in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 531-540, 2016.

CAMPOS, A. M. **Análisis numérico de presas de hormigón bajo acciones expansivas**. Tese de doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya. Programa de Doutorado de Engenharia da Construção. 2012.

CAPRARO, A. P. B.; HOPPE FILHO, J.; MEDEIROS, M. H. F. Influence of internal sulfate attack on cement paste properties: contamination by pyrite. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, 2021.

CAPRARO, A. P. B.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M. H. F. Effect of aggregate contamination with pyrite on reinforcement corrosion in concrete. **Engineering Failure Analysis**, v. 23, p. 105116, 2020.

CAPRARO, A. P. B. **Ataque interno de sulfatos: mudanças nas propriedades de compostos cimentícios**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 187 p. 2019.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói, 2002.

DOBROVOLSKI, M. E. G. **Ataque interno por sulfato em argamassas de cimento Portland**: efeito de adição cristalizante e microfibra de polipropileno. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 132 p. 2021.

DOBROVOLSKI, M. E. G.; MUNHOZ, G. S.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. Effect of crystalline admixture and polypropylene microfiber on the internal sulfate attack in Portland cement composites due to pyrite oxidation. **Construction and Building Materials**, v. 308, p. 125018, 2021.

FRARE, A.; LANGARO, E. A.; SOUZA, D. J.; MEDEIROS, M. H. F. **Revisão sistemática sobre reação álcali-agregado**: panorama comparativo dos estudos realizados no Canadá e no Brasil. **Revista ALCONPAT**, v. 13, n. 1, p. 1-27, 2023.

FOURNIER, B.; *et al.* Comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing materials (SCMs) to control alkali-silica reaction (ASR) in

concrete. *In: 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. São Paulo/Brasil, 2016.

GOBBI, A. **Reacciones expansivas internas: estudio de los áridos y hormigón de presas**. Tese de doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya. Programa de Doutorado de Engenharia da Construção. 181 p. 2019.

HASPARYK, N. P.; SANCHEZ, L. F. M. **SDT – Método de ensaio para a determinação do índice de dano de rigidez (SDI) e índice de deformação plástica (PDI) em concretos**. Instrução técnica ITDSBE001. FURNAS. Gôiania. Brasil, p. 19, 2021.

LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-silica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 196 p. 2023.

LANGARO, E. A.; SANTOS, C. A.; MEDEIROS, M. H. F.; *et al.* Rice husk ash as supplementary cementing material to inhibit the alkali-silica reaction in mortars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, p. e14404, 2021.

LOZANO, F. A. E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método da análise hierárquica**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 2006.

MACIOSKI, G.; LANGARO, E.; CAPRARO, A. P. B.; GOBBI, A.; MEDEIROS, M. H. F. Reações expansivas em barragens de concreto causadas por questões relacionadas com os agregados. **Concreto & Construções**, v. 109, n. 109, p. 56-62, 2023.

MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, V.; MEDEIROS, M. H. F. Strain, natural frequency, damping coefficient and elastic modulus of mortar beams determined by fiber Bragg grating (FBG) sensors. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, 2021.

MACIOSKI, G.; SANCHEZ, L.; BAO, X.; MEDEIROS, M. H. F. Monitoring alkali-aggregate reaction (AAR) induced expansion through the use of fiber Bragg grating sensors. *In: 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Lisboa, Portugal. 2020.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método de AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

MATTANA, A.; MEDEIROS, M. H. F.; SILVA, N. G.; COSTA, M. R. C. M. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassa de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 4, p. 63-79, 2012.

MELARA, E. K.; TRENTIN, P. O.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. Contribution to the service-life modeling of concrete exposed to sulfate attack by the inclusion of electrical resistivity data. **Construction and Building Materials**, v. 322, p. 126490, 2022.

MORAES, M. C.; BUTH, I. S.; ANGULSKI DA LUZ, C.; LANGARO, E. A.; MEDEIROS, M. H. F. Alkali-Activated Cement Subject to Alkali-Aggregate Reaction. **ACI Materials Journal**, v. 118, p. 137-147, 2021.

MUNHOZ, G. S. **Efeito da autocicatrização de argamassas na reação álcali-agregado. Dissertação de mestrado.** Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 132 p. 2020.

MUNHOZ, G. S.; DOBROVOLSKI, M. E. G.; PEREIRA, E.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. Effect of improved autogenous mortar self-healing in the alkali-aggregate reaction. **Cement & Concrete Composites**, v. 117, p. 103905, 2021.

MUNHOZ, G. S.; DOBROVOLSKI, M. E. G.; NENEVÊ, B. L.; DIAS, R. L.; GODINHO, J. P.; MEDEIROS, M. H. F. The influence of fly ash and neutral sodium silicate on concretes submitted to sulfuric acid attack. **Engineering Failure Analysis**, v. 141, p. 106673, 2022.

OLIVEIRA, I. A. **Estudo de microorganismos passíveis de utilização como agente de cicatrização em materiais de base cimentícia.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 160 p. 2019.

OMKARPRASAD, S. V.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, p. 1–29, 2006.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, p. 125-134, 2012.

PERELLES, D. H.; MEDEIROS, M. H. F. GARCEZ, M. R. Aplicação da análise hierárquica como ferramenta de tomada de decisão para escolha do compósito de reforço com polímeros reforçados com fibras. **Revista Alconpat**, v. 3, n. 4, p. 165-180, 2013.

RAISDORFER, W. J.; MEDEIROS, M. H. F. Análise hierárquica para determinação de argamassa de reparo para um elemento comprimido atacado por CO₂ e livre de cloretos. *In: Simpósio sobre Materiais e Construção Civil*, Toledo, 2013.

RIVAROLA, G. B. **Estudo comparativo de técnicas de mensurar a resistividade elétrica no concreto e sua relação com a durabilidade.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2023.

SAHMARAN, M.; KESKIN, S.B.; OZERKAN, G.; YAMAN, I. O. Self-healing of mechanically-loaded self consolidating concretes with high volumes of fly ash. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 10, p. 872-879, 2008.

SANCHEZ, L. F. M.; FOURNIER, B.; JOLIN, M.; DUCHESNE, J. Reliable quantification of AAR damage through assessment of the Damage Rating Index (DRI). **Cement and Concrete Research**, v. 67, p. 74-92, 2015.

SANCHEZ, L. F. M.; FOURNIER, B.; JOLIN, M.; BASTIEN, J.; MITCHELL, D. Tools for assessing damage in concrete affected by AAR coming from fine and coarse aggregates. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, p. 84-91, 2017.

YU-TING, L.; WEI-CHIH, W.; HAN-HSIANG, W. AHP and simulation-bases budget determination procedure for public building construction projects. **Automation in Construction**, v. 17, p. 623-632, 2007.

ULM, F. J.; Coussy, O.; Kefei, L.; Larive, C. Thermo-chemo-mechanics of ASR expansion in concrete structures. **ASCE Journal of Engineering Mechanics**, v. 126, n. 3, p. 233-242, 2000.

**Monitoramento e controle de florações de
cianobactérias em sistemas
aquáticos tropicais -
Ciano-Control**

*Vera Lucia M. Huszar
Marcelo Manzi Marinho
Ernani Pinto Junior*

A eutrofização de águas superficiais continentais é problema ambiental que afeta a qualidade da água e a biodiversidade. No projeto CIANO-CONTROL, testamos a eficácia e a aplicabilidade em sistemas tropicais de técnica inovadora de controle da eutrofização e de florações de cianobactérias, baseada na combinação de coagulantes e adsorventes de fósforo (P) em fase sólida, denominada *Floc and Lock* (F&L). Realizamos experimentos em mesocosmos em dois tipos de águas superficiais continentais (doces e salobras) e monitoramos as condições limnológicas, a ocorrência de florações de cianobactérias e as comunidades planctônicas. O monitoramento da ocorrência de florações de cianobactérias e das comunidades planctônicas mostrou que os processos são dinâmicos e que a utilização de F&L pode ser uma alternativa. Concluímos que a técnica F&L pode ser alternativa promissora para a mitigação de florações de cianobactérias em águas superficiais, pois apresenta alta eficiência na remoção de biomassa e fósforo e minimiza impactos negativos sobre comunidades aquáticas. Além disso, a técnica possibilita o aproveitamento da biomassa de cianobactérias como fonte de compostos bioativos com potencial aplicação farmacológica. O projeto abriu novas perspectivas para o avanço do conhecimento científico e tecnológico na área de tratamento e prevenção de cianobactérias e no manejo de lagos e reservatórios.

Palavras-chave: eutrofização; cianobactérias; fósforo; *Floc and Lock*; biotecnologia verde.

MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO

O enriquecimento em nutrientes de águas superficiais por meio do lançamento de efluentes agroindustriais e urbanos, aumentando a biomassa de produtores primários - a eutrofização artificial - é uma ameaça à qualidade e usos dos recursos hídricos mundialmente (PAERL & PAUL, 2012; LE MOAL *et al.* 2019). Altas cargas de nutrientes e contaminantes atingem sistemas para abastecimento público, pesca, geração de energia e lazer (TUNDISI *et al.*, 2008), desencadeando uma cascata de efeitos ecológicos, redução da biodiversidade aquática e efeitos nocivos para a saúde pública (BULLERJAHN *et al.*, 2016; LÜRLING *et al.*, 2018; LE MOAL *et al.* 2019; CHORUS & WELKER, 2021).

O crescimento da população mundial, urbanização, criação de reservatórios por barramentos, tratamento ausente ou ineficiente de efluentes, uso crescente de fertilizantes e o aquecimento global são importantes impulsionadores da proliferação mundial de florações de cianobactérias (PAERL; HUISMAN, 2008; O'NEIL *et al.*, 2012; PAERL; PAUL, 2012; IPCC, 2021). Certas espécies de cianobactérias, como representantes dos gêneros *Aphanizomenon*, *Raphidiopsis*, *Cylindrospermopsis*, *Dolichospermum*, *Microcystis* e *Planktothrix* são potencialmente capazes de produzir uma variedade de toxinas (cianotoxinas) potentes (DITTMAN; WIEGAND, 2006), podendo resultar em graves impactos econômicos (HUDNELL, 2010; HAMILTON *et al.*, 2013). No Brasil, muitos ecossistemas aquáticos estão comprometidos pela ocorrência de altas concentrações de cianotoxinas, sobretudo microcistinas e saxitoxinas (ex. MOLICA *et al.*, 2005; FERRÃO-FILHO *et al.*, 2009; BECKER *et al.*, 2010; BITTENCOURT-OLIVEIRA *et al.*, 2014; MOURA *et al.*, 2017; LORENZI *et al.*, 2018).

Uma vez que o enriquecimento excessivo por nutrientes constitui a causa primordial, a forte redução de aportes externos de nutrientes para os corpos e

curtos d'água receptores é o primeiro e mais óbvio passo (COOKE *et al.*, 2005; PAERL *et al.*, 2014). Entretanto, em países em desenvolvimento como o Brasil, com reduzida ou ineficiente estrutura de tratamento de rejeitos industriais, urbanos e agrícolas, a redução de aportes externos de nutrientes e outros materiais não é uma ação trivial na prática, ou seja, não é tão fácil de ser implementada (SOARES *et al.*, 2013; NOYMA *et al.*, 2017). É importante destacar que, apesar do avanço do saneamento, nas últimas décadas, no Brasil, cerca de 50% das águas residuais municipais e industriais ainda não passam por qualquer tipo de tratamento (WWAP, 2017; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020).

Resolver a descarga de nutrientes na bacia hidrográfica não é um processo simples, e pode levar muito tempo para apresentar, caso mostre efeito positivo para a solução do problema no ecossistema (JARVIE *et al.*, 2013). Embora alguns lagos, açudes, reservatórios e lagoas respondam rapidamente à redução do aporte externo da carga de nutrientes, a maioria dos sistemas tem tempo de residência muito longo e/ou sofre com sedimentos enriquecidos e uma estrutura trófica alterada, retardando a recuperação da qualidade de suas águas (FASTNER *et al.*, 2016). Assim, com o aporte constante de nutrientes, condições eutróficas podem ser mantidas por décadas, como consequência de estoque interno de nutrientes (SØNDERGAARD *et al.*, 2001; LÜRLING *et al.*, 2016).

O foco deste estudo é a mitigação de florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, grave problema ambiental e de saúde pública em ecossistemas aquáticos continentais em todo o mundo. Aborda, ainda, as possíveis consequências do uso de técnica de mitigação das florações e da eutrofização sobre as comunidades planctônicas e bentônicas, bem como potenciais aplicações biotecnológicas de compostos extraídos das florações de cianobactérias. O controle da eutrofização e a mitigação de florações nocivas de cianobactérias são considerados desafios-chave para o gerenciamento da qualidade da água, sendo crucial a redução acentuada da disponibilidade de fósforo (P), tanto de aportes externos quanto de seu estoque interno. O P está presente na coluna d'água e no sedimento e pode ser controlado por diversos métodos de remoção, dentre eles a técnica de geo-engenharia *Floc and Lock* (F&L) que consiste na aplicação de uma baixa dose de coagulantes à base de alumínio e o capeamento do sedimento com adsorventes de P em fase sólida, principalmente argilas modificadas.

MONTAGEM DA REDE

Parte da equipe envolvida no projeto CIANO-CONTROL interage desde 2005, quando se iniciou o projeto *South American Lake Gradient Analysis* (SALGA, 2005-2010), envolvendo universidades brasileiras, latino-americanas e europeias, com o objetivo de desenvolver estratégias para gestão e restauração de lagos rasos e treinar pesquisadores na determinação dos efeitos das flutuações climáticas sobre a qualidade de água. A partir dessa experiência, diversas universidades brasileiras, incluindo a UFRJ e UERJ, atuando em conjunto com a Universidade de Wageningen (Holanda), desenvolveram os projetos i) *Florações de cianobactérias: uma ameaça crescente em ecossistemas aquáticos* (programas CAPES-WAGENINGEN, CAPES-WUR, 2007-2012); ii) *Florações de cianobactérias no mundo em transformação* (programa CAPES-NUFFIC, 2013-2016), ambos tendo como foco estudos ecofisiológicos e ecológicos envolvendo cianobactérias, bem como sua mitigação; e iii) *Controlling eutrophication and cyanobacteria blooms in fresh and brackish surface waters in Brazil* (CNPq, 2014-2018), projeto Pesquisador Visitante Estrangeiro no âmbito do Programa Ciência sem Fronteiras, quando o Prof. Miquel Lürling da Universidade de Wageningen atuou junto com pesquisadores da UFRJ e UERJ.

Os pesquisadores brasileiros e holandeses comprovaram conhecimento em estudos com cianobactérias em diferentes campos, mas essa parceria permitia ainda necessários estudos comparativos entre ecossistemas tropicais e temperados. Conforme demonstrado, o foco em cianobactérias no campo e em microcosmos, sobretudo em sua mitigação, testando técnicas para redução da eutrofização e das florações de cianobactérias, foram se consolidando ao longo dos anos de formação da rede estabelecida.

Na etapa atual, os estudos foram realizados em mesocosmos e no ambiente, e estabeleceram-se novas parcerias, ampliando o foco dos estudos. Com a Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), foram incluídos estudos sobre zooplâncton em florações, e com a Universidade de São Paulo (USP), análises sobre substâncias produzidas por florações de cianobactérias, como os peptídeos cíclicos e lineares, conhecidos como inibidores de proteases para aplicação farmacológica adicional. Assim, se formou a rede

do presente estudo envolvendo professores, pós-doutorandos, estudantes de doutorado, de mestrado e de iniciação científica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro e Universidade de Wageningen.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As florações de cianobactérias podem ser combatidas prontamente em muitos corpos d'água através de ações *in-lake* trazendo alívio direto (LÜRLING *et al.* 2020). Essas intervenções incluem abordagens como a geo-engenharia, que foca em alterações de processos biogeoquímicos, especialmente a liberação de fósforo (P) dos sedimentos aquáticos. Nesse contexto, a técnica *Floc and Lock* (F&L) é totalmente eficaz somente em sistemas em que o aporte externo de P é inferior ao aporte interno. Nessa técnica, o adsorvente de P tem a função de remoção e imobilização do P-dissolvido e de lastro para sedimentação dos flocos formados (Figura 1).

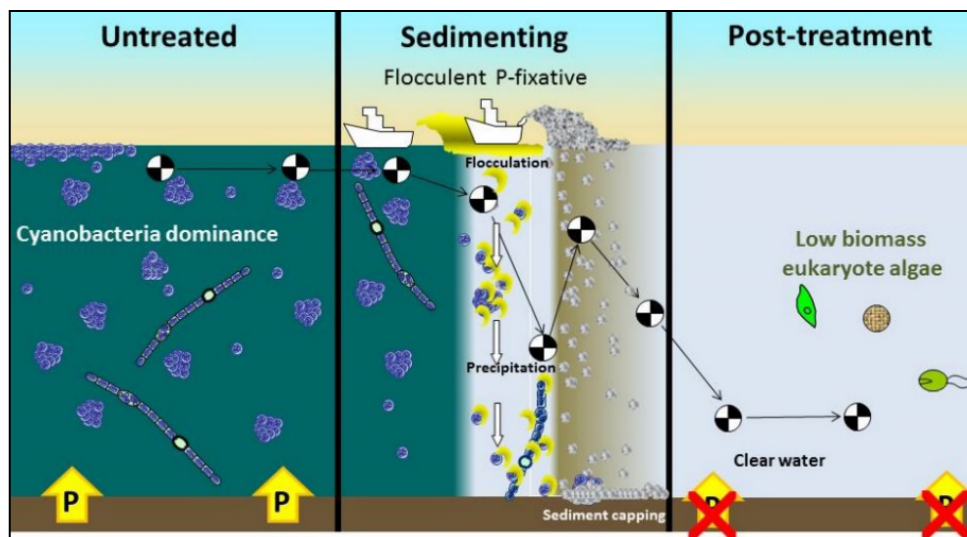


Figura 1. Técnica *Floc and Lock* (Lürling and Van Oosterhout, 2013) aplicada em lago profundo com baixo aporte externo de P.

Em sistemas abertos, sem possibilidades economicamente viáveis de redução de aporte externo de P, ações para a redução de danos ou orientadas para os efeitos, constituem as medidas mais apropriadas para o controle de florações nocivas. Essas ações não são duradouras e, provavelmente, deverão ser repetidas regularmente, o que significa que devem ser rápidas, fáceis e de baixo custo.

No caso de *corpos d'água profundos*, a floração de cianobactérias pode ser efetivamente sedimentada das camadas superficiais e retida nas camadas sobre o sedimento, onde é esperado um lento e gradual decaimento, além de uma lenta liberação de toxinas, as quais podem ser degradadas por microrganismos do sedimento (Figura 2).

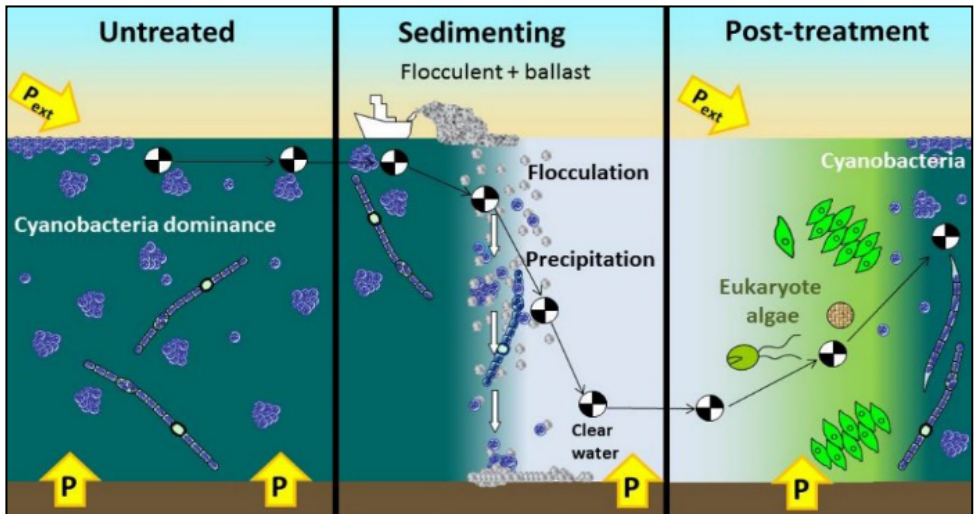


Figura 2. Tratamento combinado de coagulante e lastro (combinação de baixa dose de coagulante e areia ou argila local) aplicados em lagos profundos com elevado aporte externo de P (P_{ext}), onde é esperada a remoção de cianobactérias, mas o efeito combinado do aporte externo e efluxo de P do sedimento irá eventualmente conduzir ao retorno de águas turvas dominadas pelo fitoplâncton, sendo necessária a repetição do tratamento.

No caso de *corpos d'água rasos*, o efeito imediato de clareamento das águas é desejado, uma vez que pode estimular o crescimento de macrófitas aquáticas submersas que irão auxiliar na estabilização das águas transparentes (Figura 3).

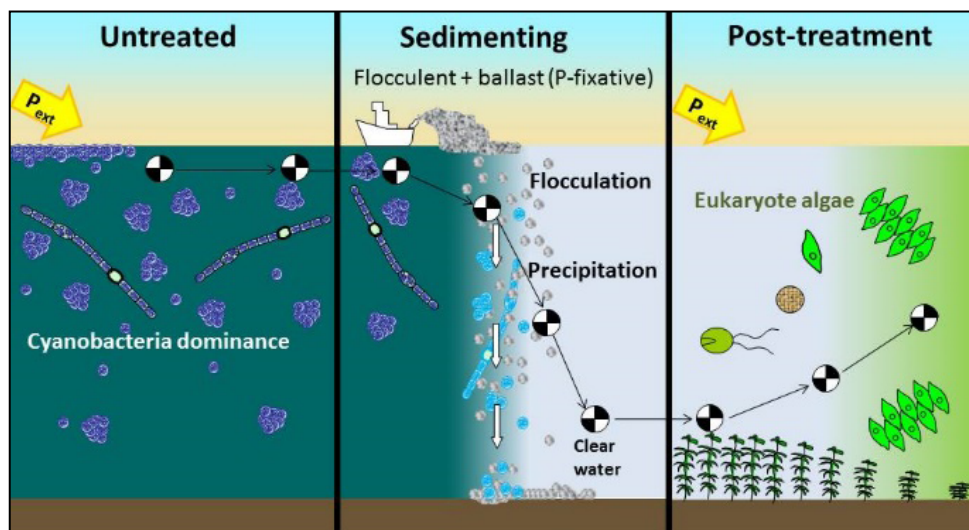


Figura 3. Tratamento combinado de coagulante e lastro (combinação de baixa dose de coagulante e areia ou argila local) em lagos rasos com elevado aporte externo de P (P_{ext}), onde é esperada a remoção de cianobactérias e partículas em suspensão com redução da turbidez e abrindo janela de oportunidade para o estabelecimento de macrófitas aquáticas submersas e prolongamento da fase de águas claras, mas o contínuo aporte externo de P irá, eventualmente, conduzir ao retorno da fase túrbida com dominância do fitoplâncton, tornando necessária a repetição do tratamento.

A remoção de cianobactérias concentradas na biomassa floculada não somente é eficiente para a retirada de P na forma particulada, mas, também, pode ser utilizada para o aproveitamento de compostos produzidos por esse grupo de organismos com interesse farmacológico e analítico. É interessante esclarecer que cianobactérias são fontes de compostos bioativos não explorados de importância farmacológica. Até o momento, foram descritos compostos com propriedades bactericidas, antivirais, antifúngicas, anticarcinogênicas, imunossupressoras e inibitórias de proteases a partir de isolados de metabólitos secundários de cianobactérias (SINGH *et al.* 2005; WELKER and DOHREN, 2006; CHLIPALA *et al.* 2011). O potencial biotecnológico da biomassa coletada inclui diferentes metabólitos secundários, tais como, cianotoxinas, para serem utilizados como padrões analíticos, e peptídeos cíclicos e lineares, conhecidos inibidores de proteases para análi-

ses farmacológicas adicionais; bem como reservas de poli-p-hidroxibutiratos para produção de bioplásticos.

Outro aspecto importante associado ao uso de técnicas para remoção de cianobactérias é o efeito causado sobre as comunidades aquáticas. Pouco se sabe, porém, sobre o efeito dessa técnica sobre comunidades aquáticas. Alguns estudos descrevem tais efeitos sobre zooplâncton (VAN OOSTENHOUT & LÜRLING, 2011), macroinvertebrados (WAAJEN *et al.*, 2017) e fitoplâncton, incluindo cianobactérias (ORIHÉL *et al.*, 2016; LANG *et al.*, 2016; SU *et al.*, 2016, BISHOP *et al.*, 2014, YAMADA *et al.*, 2015). Somente um estudo registrou o efeito da técnica F&L sobre o picoplâncton e nada há, tanto quanto se sabe, sobre as interações entre as comunidades planctônicas submetidas aos tratamentos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Testar a eficácia e a aplicabilidade de várias combinações de coagulantes e adsorventes de P em fase sólida no controle da eutrofização e de florações de cianobactérias em águas superficiais continentais, doces e salobras, avaliando, também, seus possíveis efeitos sobre as comunidades planctônica e bentônica, além de explorar o potencial biotecnológico da biomassa de cianobactérias.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Monitorar as condições limnológicas em dois sistemas, bem como a ocorrência de florações de cianobactérias e das comunidades planctônicas através de técnicas tradicionais e moleculares, possibilitando melhor interpretação dos resultados dos experimentos em mesocosmos frente às variações do ambiente, além de possibilitar o balanço de fósforo.

- ii. Avaliar a eficácia da técnica F&L sobre a remoção de biomassa de cianobactérias e fósforo em experimentos de mesocosmos;
- iii. Avaliar os efeitos da técnica sobre as diferentes comunidades planctônicas em experimentos de mesocosmos;
- iv. Remover biomassa de cianobactérias dos ecossistemas estudados visando extrair peptídeos cíclicos e lineares, conhecidos como inibidores de proteases, para aplicação farmacológica adicional.

IMPACTOS

MITIGAÇÃO DE FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS

A eutrofização é o principal problema de qualidade da água em águas interiores. A redução da carga externa de nutrientes é crucial, mas pode não trazer alívio rápido para águas eutróficas devido à poluição difusa em curso e o legado de nutrientes no sedimento.

A seleção das medidas e materiais mais promissores para intervenções *in-lake* deve ser baseada em diagnóstico e análises do sistema adequados antes de uma intervenção em grande escala. Como exemplo, a análise do balanço de P para a Lagoa de Jacarepaguá (RJ), um dos sistemas estudados neste projeto, evidenciou que cerca de 11% da carga total anual de P é proveniente dos sedimentos da própria lagoa (MARINHO *et al.* 2020). Além disso, a redução da carga externa de P dos rios é uma necessidade absoluta para a restauração da lagoa, mas, mesmo assim, a liberação de P nos sedimentos ainda pode ser suficiente para alimentar a proliferação de cianobactérias, e, portanto, restaurar a lagoa requer mais do que controle de carga externa – e intervenções de geo-engenharia *in-lake* são mais econômicas do que os procedimentos padrão de dragagem (Marinho *et al.* 2020). Nesse contexto, *Floc and Sink* (F&S) é uma técnica que consiste na aplicação de baixa dose de coagulantes em combinação com lastros para remoção de biomassa de cianobactérias.

Nossos resultados demonstraram que a técnica de F&S foi eficiente para remover cianobactérias de amostras de água coletadas mensalmente em um reservatório tropical profundo (Reservatório de Funil, RJ). Contu-

do, variações espaciais e temporais de condições ambientais (ex. pH) podem interferir na eficiência. Além disso, foi observado que as formas de vida das espécies de cianobactérias presentes (ex. colônias, filamentos) também influenciam na eficácia dos tratamentos, neste reservatório tropical (DRUMMOND *et al.*, 2022).

Partindo de uma abordagem experimental estruturada em fases, após estudos experimentais em laboratório, iniciamos, neste projeto, os estudos com mesocosmos *in situ* para acessar os impactos sobre populações e funcionamento do ecossistema, antes de adotar a escala de aplicação para todo o ecossistema aquático.

Os experimentos foram executados em dois sistemas eutrofizados: o Reservatório do Funil (Resende – RJ) e a Lagoa de Jacarepaguá (Rio de Janeiro – RJ), Figura 4, visando avaliar a aplicabilidade e eficácia de combinações de coagulante (Policloreto de Alumínio – PAC) e adsorventes de P em fase sólida (argilas naturais – Zeólita (ZEO), modificadas – Bentonita modificada com Lantânio (LMB) e/ou solo vermelho natural (RS)) no controle de florações de cianobactérias. O desenho experimental consistiu na execução de dois experimentos em cada ambiente, nos quais as unidades cilíndricas que constituíram os mesocosmos foram instaladas em píeres flutuantes (Figura 4). No reservatório, foram testadas as combinações de PAC+LMB e PAC+LMB+RS, em períodos de baixa e alta biomassa de cianobactérias. O solo vermelho natural foi utilizado como alternativa mais econômica à argila modificada. Na lagoa, o primeiro experimento comparou os tratamentos PAC+LMB e PAC+LMB+ZEO na ausência de floração de cianobactérias. Assim como o RS, a Zeólita foi utilizada como alternativa mais econômica à argila modificada e para avaliar sua eficácia em reduzir formas nitrogenadas inorgânicas. Enquanto o segundo avaliou se a aplicação do algicida peróxido de hidrogênio (H₂O₂) aumenta a eficácia da combinação de PAC+LMB, em ecossistemas aquáticos tropicais rasos.

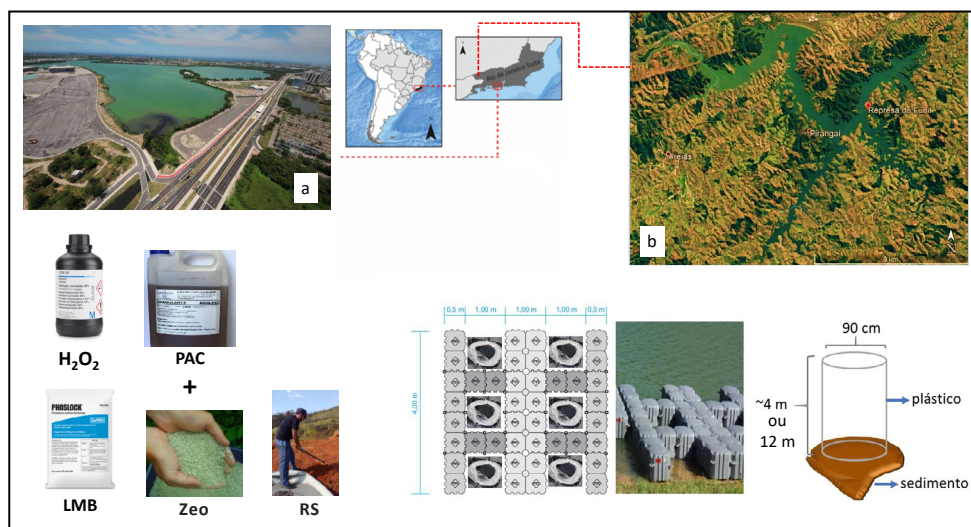


Figura 4. Os experimentos em mesocosmos foram realizados na Lagoa de Jacarepaguá (a) e no Reservatório do Funil (b). Os tratamentos da técnica F&L consistiram na aplicação combinada de PAC+LMB e PAC+LMB+RS nos dois experimentos no reservatório do Funil e PAC+LMB e PAC+LMB+ZEO ou PAC+LMB e H₂O₂+PAC+LMB no primeiro e segundo experimento na Lagoa de Jacarepaguá, respectivamente.

Os resultados obtidos nos experimentos em mesocosmos evidenciaram que a técnica F&L foi eficiente na remoção do fósforo da coluna d'água, nos dois ambientes estudados. A aplicação combinada de PAC+LMB reduziu em 91% - 95% o P-dissolvido (MARINHO *et al.*, a, b in prep.). Ainda, o solo vermelho natural, aplicado na combinação PAC+LMB+RS, alcançou remoção média de 90% do P-dissolvido no Reservatório do Funil, enquanto o uso de Zeólita na Lagoa de Jacarepaguá, aplicado na combinação PAC+LMB+ZEO, também apresentou elevada média de redução do P (80%).

Em relação à remoção de biomassa, no experimento realizado na Lagoa de Jacarepaguá, em período sem floração, a redução na coluna d'água foi de apenas 3-8% (MARINHO *et al.*, a in prep.). No entanto, no experimento realizado durante a floração, foi registrada efetiva remoção de biomassa de cianobactérias (93% a 100%). A remoção de biomassa de cianobactérias foi efetiva nos dois experimentos realizados no Reservatório do Funil, variando entre 77-87% e 93-

99%, nos períodos com baixa e alta biomassa respectivamente (MARINHO *et al.*, b in prep.). Cabe destacar que a redução da biomassa de cianobactérias na coluna d'água foi rápida, refletindo-se em aumento na transparência da água nos dois ambientes estudados (Figura 5).

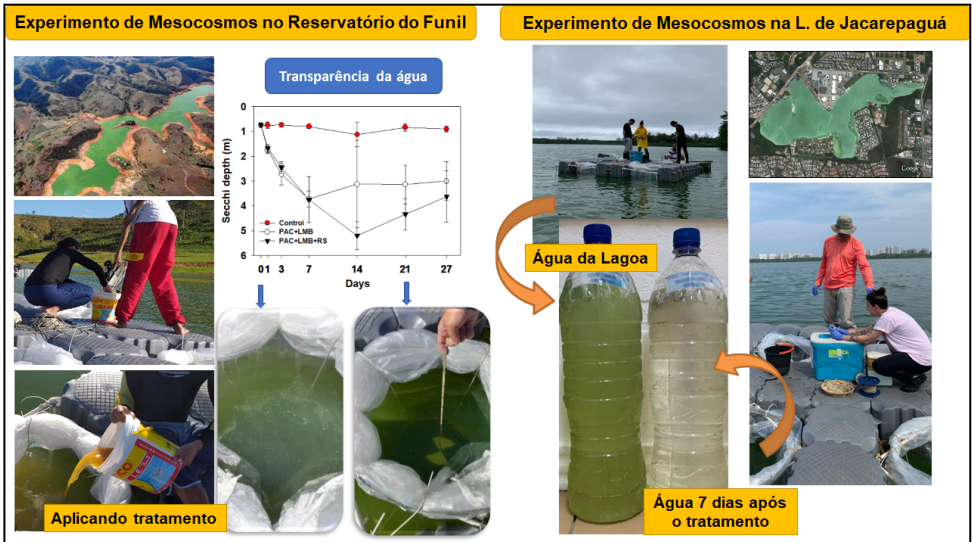


Figura 5. Experimentos em mesocosmos. No painel à esquerda, as fotos ilustram o incremento da profundidade de Secchi nos mesocosmos no Reservatório do Funil. À direita, é possível verificar o aumento da transparência da água coletada nos mesocosmos e na Lagoa de Jacarepaguá.

A longevidade dos tratamentos F&L foi avaliada em testemunhos de sedimento coletados dentro de cada unidade de mesocosmo, ao final dos experimentos em mesocosmos nos dois sistemas. Durante quatro meses e meio, os cores coletados foram acompanhados em laboratório. Os tratamentos da técnica F&L mantiveram sua eficiência em reter P no sedimento, independentemente das variações de OD e pH da água no Reservatório do Funil. Portanto, para esse sistema, os tratamentos devem focar na retirada da biomassa de cianobactérias da coluna d'água podendo ser aplicados em qualquer época.

Por outro lado, os tratamentos da técnica F&L na Lagoa de Jacarepaguá, ao longo do tempo, perderam eficiência em reter o fósforo presente no sedimento

e em prevenir o recrutamento de células de cianobactérias. Condições de anoxia, sedimento inconsolidado, com muita matéria orgânica, e alta taxa de decomposição parecem ter influenciado a longevidade. Ainda, considerando sistemas com sedimentos pouco consolidados com muita matéria orgânica, como a Lagoa de Jacarepaguá, a reaplicação dos tratamentos pode ser considerada (DRUMMOND, 2022).

POTENCIAIS EFEITOS SOBRE PLÂNCTON E ZOOBENTOS

Foram avaliados, neste projeto, os efeitos da aplicação da técnica F&L sobre as comunidades planctônica e zoobentônica da Lagoa de Jacarepaguá e do Reservatório do Funil por meio dos experimentos em mesocosmos.

A redução da biomassa do fitoplâncton, representada principalmente por cianobactérias, favoreceu o incremento da diversidade de espécies tanto no reservatório quanto na lagoa costeira (BARRETO, 2020; FREIRE, 2020). Entretanto, não foi observada a remoção do picoplâncton autotrófico e heterotrófico (bactérias) como esperado (CASTANHEDA *et al.*, in prep.).

Apesar das diferenças na comunidade zooplânctônica entre os ambientes estudados, os efeitos colaterais não intencionais da técnica F&L foram similares. Após a redução da densidade de zooplâncton com a aplicação da técnica, foi observada posterior recuperação dessa comunidade. Ao final do experimento, verificou-se mudança na comunidade zooplânctônica, com redução da densidade total, favorecimento dos copépodos e aumento da diversidade (LEITE, 2019; PRESTES, 2020).

A comunidade zoobentônica dos ambientes estudados mostrou-se muito empobrecida, o que impossibilitou uma avaliação dos efeitos da técnica sobre essa comunidade (LEITE, 2019; PRESTES, 2020).

DESTINO DE CIANOTOXINAS E TOXICIDADE

A partir dos dados obtidos sobre a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas e as condições ambientais associadas à presença de cia-

notoxinas, em uma lagoa costeira e em dois reservatórios brasileiros, foi possível identificar relações entre as variações de ambientes e as principais condições em que as cianotoxinas são produzidas, achado importante para gerenciamento de recursos hídricos (DOS SANTOS MACHADO *et al.*, 2022; ARRUDA *et al.*, in prep.).

Diante disso, é importante examinar os possíveis efeitos não intencionais da técnica F&S para remoção de cianobactérias da coluna d'água sobre a liberação de microcistinas (MC) da biomassa precipitada. Os resultados do estudo com amostras de florações coletadas no reservatório do Funil em escala de microcosmos evidenciaram que, embora em alguns casos a aplicação do coagulante PAC isoladamente possa promover a sedimentação da biomassa de cianobactérias, a liberação de cianotoxinas pode também ocorrer. Por outro lado, o uso combinado de PAC com LMB e/ou RS (solo vermelho natural coletado nas margens do reservatório) pode, efetivamente, sedimentar florações das cianobactérias *Dolichospermum circinalis* e *Microcystis aeruginosa*, além de remover cianotoxinas da coluna de água (ARRUDA *et al.*, 2021).

Em escala de mesocosmos, os experimentos no Reservatório do Funil e na Lagoa de Jacarepaguá também demonstraram o potencial efeito de remoção de cianotoxinas da técnica F&S. Antes da aplicação dos tratamentos, foram identificadas cinco variantes de microcistinas (MCs). Já 24h após o início do experimento, ocorreu redução >98% das cianotoxinas, resultado obviamente associado à remoção de biomassa de cianobactérias. Contudo, é importante ressaltar que não ocorreu liberação de cianotoxinas dissolvidas para a água (MARINHO *et al.*, b, in prep.), sugerindo que a remoção de MC intracelulares pode ser alcançada utilizando técnicas de floculação e de sedimentação.

BIOTECNOLOGIA E OUTROS CIANOPEPTÍDEOS

Vários avanços foram obtidos envolvendo estudos farmacológicos sobre pentapeptídeos lineares (Microgininas) isolados de cianobactérias (FERREIRA *et al.*, 2019), ou produção e isolamento de aminoácidos tipo micosporinas,

compostos absorvedores de radiação UV, com potencial aplicação em cosméticos (GERALDES *et al.*, 2020; GERALDES and PINTO, 2021). Também foram obtidas informações sobre toxicidade de cianotoxinas pouco comuns (FERNANDES *et al.*, 2020) ou não investigadas por falta de protocolos estabelecidos para extração e análise (GONZÁLEZ-BLANCO *et al.*, 2020).

Ainda nessa vertente, a análise metabolômica do perfil químico, baseada em LC-MS, realizada em biomassa ambiental de cianobactérias, coletadas no Reservatório do Funil, RJ), identificou a presença de quatro classes diferentes de cianopeptídeos de cianobactérias: microcistinas, microgininas, aeruginosinas e cianopeptolinas. Ensaios de toxicidade aguda e ferramentas de bioinformática indicaram que outros compostos, além das microcistinas, foram responsáveis pela toxicidade observada. Os compostos da classe das cianopeptolinas apresentaram altos escores de correlação de bioatividade em ambas as ferramentas e, em alguns casos, até superiores aos atribuídos às microcistinas. A toxicidade observada não é atribuída exclusivamente à MC, destacando a importância de mensurar minuciosamente os riscos (eco)toxicológicos associados a várias classes de cianopeptídeos. É crucial avaliar o potencial de exposição e os efeitos sinérgicos entre esses compostos, enfatizando a necessidade imediata de uma avaliação abrangente de risco (MÉDICE *et al.*, in prep.).

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Dentre as metas propostas no projeto, destacamos aquelas relacionadas ao: *i)* aumento da capacitação científica e da experiência de pesquisadores brasileiros, e formação de recursos humanos, em nível de graduação e pós-graduação no campo da restauração de ecossistemas aquáticos; *ii)* geração de conhecimentos para subsidiar propostas de políticas públicas de restauração de ecossistemas aquáticos eutrofizados, associados ao avanço tecnológico que este projeto pode representar em termos de inovação metodológica científica para o Brasil. Assim, apesar do impacto e de todas as dificuldades e incertezas que a pandemia de COVID-19 acarretou sobre o desenvolvimento do trabalho, entendemos que

essas metas foram cumpridas. Foram concretizadas 6 defesas de mestrado, estão em andamento seis Teses de Doutorado, 4 doutores concluíram o treinamento de pós-doutorado, 4 monografias, 15 artigos científicos concluídos, 1 capítulo de livro e 15 artigos em preparação.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

LEITE, V. B. G. 2019. Efeitos da técnica de floculação-sedimentação para mitigação de florações de cianobactérias sobre as comunidades zooplanctônica e zoobentônica da Lagoa de Jacarepaguá (RJ).

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7749683

FREIRE, I. V. 2020. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica e respostas do fitoplâncton à aplicação da técnica Floc & Lock para a mitigação da eutrofização em uma lagoa costeira tropical.

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9250913

BARRETO, D. A. 2020. Dinâmica fitoplanctônica e aplicação combinada de flocculante e adsorventes de fósforo no controle de florações de cianobactérias e seus efeitos sobre o fitoplâncton em um reservatório tropical profundo (UHE Funil).

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9250901

PRESTES A. C. C. 2020. Efeitos da técnica de coagulação-sedimentação para mitigação de florações de cianobactérias sobre as comunidades zooplanctônica e zoobentônica do Reservatório do Funil (RJ, Brasil).

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9526447

DRUMOND, E. 2022. Avaliação da longevidade da remoção de fósforo e biomassa de cianobactérias pela técnica de coagulação e precipitação ("Floc & Lock") em dois sistemas eutróficos.

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11855168

GARCIA, F. 2023. Desenvolvimento de método analítico para o monitoramento ambiental de metabólitos peptídicos de cianobactérias em amostras de água.

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9143/tde-15052023-110631/pt-br.php>

DOUTORADO

ALMEIDA, E. Avaliação de risco do consumo de cianopeptídeos em tilápias de pisciculturas brasileiras. (Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Farmácia, USP).

ARRUDA, RS. Avaliação dos efeitos da aplicação de técnicas para mitigação de florações de cianobactérias na liberação e destino de cianotoxinas em dois sistemas eutróficos tropicais. Tese, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GARCIA, NA. Estrutura da cadeia alimentar planctônica e a influência da técnica "floc & lock" sobre seus componentes, em um reservatório tropical profundo com florações recorrentes de cianobactérias. Tese, Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MÉDICE, R. Caracterização e bioprospecção da biomassa de cianobactérias presentes em reservatórios de água visando seu potencial biotecnológico. (Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Farmácia, USP).

TORRES, M. Análise do Potencial Ecotoxicológico de Oligopeptídeos Sintetizados por Cianobactérias. (Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Farmácia, USP).

PRESTES, AC. Efeitos da técnica floculação-sedimentação para mitigação de florações de cianobactérias sobre organismos zoobentônicos em ecossistemas tropicais.

PÓS-DOUTORADO

LUCIANA M. RANGEL (UFRJ);3

LEONARDO DE MAGALHÃES (UERJ);

MARCELLA C. B. MESQUITA (UERJ);

JESSICA A. S. MORETTO (USP).

MONOGRAFIAS

PEREIRA L. H. 2021. Relação da comunidade zooplanctônica, com ênfase nas populações de *Brachionus plicatilis* e *B. angularis*, com florações de *Microcystis aeruginosa* e outras variáveis na Lagoa de Jacarepaguá.

OLIVEIRA F. D. M. 2022. Variação temporal da comunidade zooplanctônica com ênfase em cladóceros e sua relação com florações de cianobactérias tóxicas no Reservatório do Funil.

CASTANHEDA, F. Floc and lock technique does not remove autotrophic and heterotrophic picoplankton in a hypertrophic coastal lagoon.

II. PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

ARRUDA, R. S.; et al., 2021. 'Floc and Sink' Technique Removes Cyanobacteria and Microcystins from Tropical Reservoir Water. *Toxins*, v. 13, n. 6, p. 405.
<https://doi.org/10.3390/toxins13060405>

DRUMMOND, E.; et al., 2022. Temporal and spatial variation in the efficiency of a Floc & Sink technique for controlling cyanobacterial blooms in a tropical reservoir. *Harmful Algae*, v. 117.
<https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102262>

LÜRLING, M.; et al., 2020. Coagulation and precipitation of cyanobacterial blooms. *Ecol. Eng.*, 158, p. 106032.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106032>

BOAS, L. A. V.; et al., 2020. In vitro toxicity of isolated strains and cyanobacterial bloom biomasses over *Paramecium caudatum* (ciliophora): Lessons from a non-metazoan model organism. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, v. 202, p. 110937.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110937>

SANTOS MACHADO, L.; et al. 2022. Permanent occurrence of *Raphidiopsis raciborskii* and cyanotoxins in a subtropical reservoir polluted by domestic effluents (Itupararanga reservoir, São Paulo, Brazil). *Environ Sci Pollut Res*, v. 29, 18653–18664.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16994-6>

FERNANDES, K.; et al. 2019. Toxicity of Cyanopeptides from Two Microcystis Strains on Larval Development of *Astyanax altiparanae*. *Toxins*, v. 11, p. 220.
<https://doi.org/10.3390/toxins11040220>

FERNANDES, K.; et al. 2020. Availability of Guanitoxin in Water Samples Containing *Sphaerospermopsis torques-reginae* Cells Submitted to Dissolution Tests. *Pharmaceuticals*, v. 13, p. 402.
<https://doi.org/10.3390/ph13110402>

FERREIRA, G. M.; et al. 2019. Inhibition of Porcine Aminopeptidase M (pAMP) by the Pentapeptide Microginins. *Molecules*, v. 24, p. 4369.
<https://doi.org/10.3390/molecules24234369>

GERALDES, V.; et al. 2020. Identification and distribution of mycosporine-like amino acids in Brazilian cyanobacteria using ultrahigh-performance liquid chromatography

with diode array detection coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, v. 34.
<https://doi.org/10.1002/rcm.8634>

GERALDES, V.; PINTO, E. 2021. "Mycosporine-Like Amino Acids (MAAs): Biology, Chemistry and Identification Features". *Pharmaceuticals*, v. 14, 2021, p. 63.
<https://doi.org/10.3390/ph14010063>

GONZÁLEZ-BLANCO, C.; *et al.*, 2020. Alternative Isolation Protocol for Desulfo and Zwitterionic Cyindrospermopsin Alkaloids and Comparison of Their Toxicity in HepG2 Cells. *Molecules*, v. 25, p. 3027.
<https://doi.org/10.3390/molecules25133027>

JONES, M. R.; *et al.* 2021. CyanoMetDB, a comprehensive public database of secondary metabolites from cyanobacteria. *Water Res.*, v. 196, 2021, p. 117017.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117017>

PASSOS, L. S.; *et al.* 2021. Chemical Characterization of *Microcystis aeruginosa* for Feed and Energy Uses. *Energies*, v. 14, p. 3013.
<https://doi.org/10.3390/en14113013>

POPIN, R. V.; *et al.* 2020. Genomic and Metabolomic Analyses of Natural Products in *Nodularia spumigena* Isolated from a Shrimp Culture Pond. *Toxins*, v. 12, p. 141.
<https://doi.org/10.3390/toxins12030141>

TERAMOTO, K. K.; *et al.* 2020. Microginins screening in cyanobacteria by LC-MS. *Química Nova*, v. 43, n. 10, p. 1385-1392.
<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170640>

CAPÍTULO DE LIVRO

MARINHO, M. M.; *et al.* 2020. External and Internal Phosphorus Loads to a Coastal Urban Lagoon, Jacarepaguá Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. In: Alan D. Steinman and Bryan M. Spears. (Org.). *Internal Phosphorus Loading in Lakes Causes, Case Studies, and Management*. 1Ed. Plantation: J. ROSS PUBLISHING, p. 389-406

ARTIGOS EM PREPARAÇÃO

MARINHO; *et al.* (A) Effects of "floc & lock" eutrophication control on water quality: a mesocosm study in a hypertrophic coastal lagoon

MARINHO; *et al.* (B) Mitigation of cyanobacterial blooms in a deep tropical reservoir by the coagulation and precipitation technique (Floc & Lock)

DRUMMOND; et al. Evaluation of the longevity of phosphorus and cyanobacteria biomass removal by the coagulation and precipitation technique (Floc & Lock) in two eutrophic systems

LEITE; et al. Effects of flocculation-sedimentation technique for mitigation cyanobacterial blooms on the zooplankton community of a tropical hypereutrophic coastal lagoon

PRESTES; et al. effects of coagulation-sedimentation techniques for mitigation of cyanobacterial blooms on the zooplanktonic and zoobenthic communities of a deep tropical eutrophic reservoir

BARRETO; et al. Phytoplankton dynamics and combined application of flocculant and phosphorus adsorbents to control cyanobacterial blooms and their effects on the phytoplankton community in a deep tropical reservoir.

CASTANHEDA; et al. floc and lock technique does not affect the autotrophic and heterotrophic picoplankton in a hypertrophic coastal lagoon.

ARRUDA; et al. Spatial and temporal dynamics of microcystin variants and relationships with environmental variables in a tropical reservoir.

ARRUDA; et al. Interannual Variability of Intra and Extracellular Microcystins in a Eutrophic Tropical Coastal Lagoon.

MÉDICE; et al. Primary Screening of Cyanobacteria from a Tropical Reservoir: Biological Activities and Metabolomics Analyses of Crude Extracts.

FREIRE; et al. Phytoplankton community responses to the application of a eutrophication control technique (Floc & Lock) in a tropical coastal Lagoon.

FREIRE; et al. Phytoplankton dynamic in a hypereutrophic and oligohaline coastal Lagoon.

BARRETO; et al. Dinâmica interanual e sazonal do fitoplâncton de um reservatório tropical profundo (Funil, Rio de Janeiro).

ARRUDA; et al. Evaluation of the floc & lock technique in the removal of cyanobacterial blooms and its effects on the release of microcystins and their variants: a study in mesocosms, Funil reservoir.

ARRUDA; et al. Evaluation of the kill, floc & lock technique in the removal of cyanobacterial blooms and its effects on the release of microcystins and their variants: a study in mesocosms, Lagoa de Jacarepaguá.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- I. O monitoramento limnológico, da ocorrência de florações de cianobactérias e das comunidades planctônicas, mostrou que os processos são dinâmicos, sendo registrada a ocorrência, muitas vezes em biomassas elevadas, de espécies dos gêneros formadores de floração *Raphidiopsis*, *Dolichospermum*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon* e *Microcystis*. Em todos os ambientes estudados, foi detectada a presença de cianotoxinas, sendo identificadas oito variantes de microcistinas por meio da metodologia utilizada. Foram constatadas relações entre as variações dos ambientes e as principais condições em que as cianotoxinas são produzidas, achado importante para o gerenciamento de recursos hídricos.
- II. A avaliação da eficácia da técnica F&L sobre a remoção de biomassa de cianobactérias e fósforo em experimentos de mesocosmos foi satisfatória, principalmente por ter se mostrado eficaz em episódios distintos, com alta e baixa concentração celular de cianobactérias, além de apresentar capacidade de remover cianotoxinas da coluna de água.
- III. Entre os compostos utilizados, a adição de solo vermelho natural, material abundante na natureza e rico em ferro e alumínio, pode reduzir o custo da técnica com eficiência equivalente, viabilizando seu uso na melhoria da qualidade da água, em diferentes sistemas.
- IV. Os tratamentos da técnica F&L mantiveram a sua eficiência em reter o P no sedimento (durante os quatro meses e meio do experimento), independentemente das variações de OD e pH da água. Contudo, em sistemas com sedimento inconsolidado, com elevado teor de matéria orgânica e alta taxa de decomposição a longevidade pode ser reduzida. Nesse caso, a reaplicação dos tratamentos deve ser considerada.
- V. A avaliação dos efeitos da técnica F&L sobre as diferentes comunidades planctônicas em experimentos de mesocosmos demonstrou que os impactos negativos são reduzidos. A comunidade zooplânctônica

apresentou rápida recuperação do efeito colateral não-intencional de redução da densidade, com favorecimento dos copépodos e aumento da diversidade, enquanto na comunidade fitoplanctônica, a remoção de biomassa favoreceu o incremento da diversidade de espécies.

- vi. A investigação dos extratos das biomassas de cianobactérias coletadas indicou a presença de compostos de alto valor agregado, como as micosporinas (fotoprotetores naturais) e, também, de cianopeptídeos com atividade farmacológica relevante (inibidores de proteases – principalmente microgininas).

PERSPECTIVAS

O projeto CIANO-CONTROL foi finalizado com sucesso, demonstrando a viabilidade da técnica *Floc and Lock* para o controle da eutrofização e de florações de cianobactérias em águas superficiais continentais. A técnica se mostra eficaz na remoção de biomassa e de fósforo, além de minimizar os impactos negativos sobre as comunidades aquáticas. Além disso, a técnica possibilita o aproveitamento da biomassa de cianobactérias como fonte de compostos bioativos com potencial aplicação farmacológica, contribuindo para o desenvolvimento de uma biotecnologia verde. Novas perspectivas foram geradas para o avanço do conhecimento científico e tecnológico, na área de tratamento, e prevenção de cianobactérias, no manejo de reservatórios.

Apesar do sucesso alcançado, ainda há desafios e oportunidades a serem explorados no futuro. Algumas perspectivas são: i) testar a técnica *Floc and Lock* em mais lagos e reservatórios, considerando a diversidade de cianobactérias que pode ocorrer em diferentes regiões e épocas do ano; ii) testar a técnica *Floc and Lock* em múltiplas condições ambientais, como temperatura, pH, salinidade, turbidez, etc., para avaliar sua eficiência e aplicabilidade em distintos cenários; iii) avaliar os possíveis efeitos ecotoxicológicos da técnica *Floc and Lock* sobre as comunidades aquáticas, considerando os possíveis resíduos dos coagulantes e adsorventes utilizados; iv) desenvolver métodos de recuperação e de reciclagem dos coagulantes e adsorventes utilizados na

técnica *Floc and Lock*, visando reduzir os custos e os possíveis impactos ambientais da técnica; v) explorar o potencial biotecnológico de outros compostos presentes na biomassa de cianobactérias, como pigmentos, lipídios, polissacarídeos, etc., que podem ter aplicações nas áreas de cosmética, alimentícia, energética, etc.; vi) investigar os mecanismos moleculares envolvidos na produção e na regulação dos peptídeos com atividade farmacológica extraídos da biomassa de cianobactérias, visando elucidar suas vias Biosintética e seus alvos terapêuticos e/ou cosméticos; vii) investigar o potencial biotecnológico das biomassas de cianobactérias provenientes de diferentes locais, que podem apresentar perfil de moléculas bem diferente conforme varia o lugar.

REFERÊNCIAS

- BECKER, V.; *et al.* Occurrence of anatoxin-a(s) during a bloom of *Anabaena crassa* in a water-supply reservoir in southern Brazil. **J Appl Phycol** 22, 235–241, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9451-8>
- BISHOP, W. M.; *et al.* Operational Evaluation of Phoslock Phosphorus Locking Technology in Laguna Niguel Lake, California. **Water, Air, & Soil Pollution** 225 (7), 1-11, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-014-2018-6>.
- BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. D. C.; *et al.* Cyanobacteria, microcystins and cylindrospermopsin in public drinking supply reservoirs of Brazil. **Anais Da Academia Brasileira De Ciências**, 86(1), 297–310, 2014. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201302512>.
- BULLERJAHN, G. S.; *et al.* Global solutions to regional problems: Collecting global expertise to address the problem of harmful cyanobacterial blooms. A Lake Erie case study. **Harmful Algae** 54: 223–238, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.01.003>.
- CHLIPALA, G. E.; *et al.* Chemodiversity in Freshwater and Terrestrial Cyanobacteria - A Source for Drug Discovery. **Betham Science Publishers**, v. 12, n. 11, p. 1654-1673, 2011. <https://doi.org/10.2174/138945011798109455>
- CHORUS, I.; WELKER, M. (Eds.). **Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management** (2nd ed.). CRC Press. 2021. <https://doi.org/10.1201/9781003081449>
- COOKE, G. D.; *et al.* **Restoration and management lakes and reservoirs**. Florida. 584p, 2005.

DE MAGALHÃES, L.; *et al.* Efficacy of Coagulants and Ballast Compounds in Removal of Cyanobacteria (*Microcystis*) from Water of the Tropical Lagoon Jacarepaguá (Rio de Janeiro, Brazil). **Estuaries and Coasts**, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12237-016-0125-x>

DEBROAS, D.; *et al.* Evidence for an active rare biosphere within freshwater protists Community. **Molecular Ecology**, v. 24, n. 6, p. 1236-1247, 2015. <https://doi.org/10.1111/mec.13116>.

DITTMANN, E.; WIEGAND, C. Cyanobacterial toxins--occurrence, biosynthesis and impact on human affairs. **Molecular Nutrition & Food Research** 50: 7–17, 2006. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500162>.

DOMINGUES; *et al.* Microbial Food-Web Drivers in Tropical Reservoirs. **Microbial Ecology**, v. 73, p. 505-520, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0899-1>

FASTNER; *et al.* Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load—experiences from eight case studies”. **Aquatic Ecology**, v. 50, n. 3, pp. 367-383, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10452-015-9558-8>.

FERRÃO-FILHO; *et al.* Biomonitoring of cyanotoxins in two tropical reservoirs by cladoceran toxicity bioassays. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 72: 479 – 489, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.002>.

HAMILTON; *et al.* Costs of harmful blooms of freshwater cyanobacteria. *In*: Sharma, N. K.; Rai, A. K.; Stal, L. J. (Eds.) **Cyanobacteria: an economic perspective**. John Wiley & Sons, Chichester, UK pp. 245-256, 2013. <https://doi.org/10.1002/9781118402238.ch15>.

HUDNELL, H. K., The state of U.S. freshwater harmful algal blooms assessments, policy and legislation. **Toxicon** 55, 1024–1034, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.07.021>.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento instituto trata brasil 2020** (snis 2018), 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2023). **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

JARVIE; *et al.* Water quality remediation faces unprecedented challenges from “legacy phosphorus.” **Environmental Science and Technology**, 47(16), 8997–8998. 2013. <https://doi.org/10.1021/es403160a>.

JEPPESEN, E.; *et al.* Lake Restoration and Management in a Climate Change Perspective: An Introduction. **Water**, 9(2), 122. 2017. <https://doi.org/10.3390/w9020122>.

LANG, P.; *et al.* Phytoplankton community responses in a shallow lake following lanthanum-bentonite application. **Water Research**, v. 97, n. pp. 55-68, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.018>

LE MOAL; *et al.* **Eutrophication: A new wine in an old bottle?** Science of The Total Environment; v.651 (Pt 1):1-11, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>.

LOGARES, R.; *et al.* Rarity in aquatic microbes: placing protists on the map. **Research in Microbiology**, v. 166, n. 10, p. 831-841, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.09.009>.

LORENZI; *et al.* Cyanotoxin contamination of semiarid drinking water supply reservoirs. **Environmental Earth Sciences Springer Berlin Heidelberg** 77: 595, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7774-y>

LÜRLING; *et al.* Response of Natural Cyanobacteria and Algae Assemblages to a Nutrient Pulse and Elevated Temperature, **Frontiers in Microbiology** (9):1-14, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01851>.

LÜRLING, M.; *et al.* Coagulation and precipitation of cyanobacterial blooms. **Ecological Engineering**, 158, 106032, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106032>.

LÜRLING, M.; *et al.* Editorial – A critical perspective on geo-engineering for eutrophication management in lakes. **Water Research**. v.97, p. 1-10, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.035>.

LÜRLING, M.; VAN OOSTERHOUT, F. Case study on the efficacy of a lanthanum enriched clay (Phoslock®) in controlling eutrophication in Lake Het Groene Eiland (The Netherlands). **Hydrobiologia**. v.710, n.1, p.253-263, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1141-x>.

MANGOT, J. F.; *et al.* Short-term dynamics of diversity patterns: evidence of continual reassembly within lacustrine small eukaryotes. **Environmental Microbiology** 15.6, pp. 1745-1758, 2013. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12065>.

MIRANDA; *et al.* The efficiency of combined coagulant and ballast to remove harmful cyanobacterial blooms in a tropical shallow system. **Harmful Algae**, v. 65, p. 27-39, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.04.007>.

MOLICA; *et al.* Occurrence of saxitoxins and an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply. **Harmful Algae Elsevier** 4: 743–753, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2004.11.001>.

MOURA; *et al.* Cyanobacterial blooms in freshwaters bodies in a semiarid region, northeastern Brazil: A review. **Journal of Limnology** 77, 2017. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2017.1646>.

- NOYMA, N. P.; *et al.* Controlling cyanobacterial blooms through effective flocculation and sedimentation with combined use of flocculants and phosphorus adsorbing natural soil and modified clay. **Water Research**, v. 97, p. 26-38, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.057>
- NOYMA, N. P.; *et al.* Coagulant plus ballast technique provides a rapid mitigation of cyanobacterial nuisance. **PLoS ONE**, v.12, n.6, p. 1-16: e0178976, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178976>.
- ORIHIEL, D. M.; *et al.* Experimental iron amendment suppresses toxic cyanobacteria in a hypereutrophic lake. **Ecol. Appl**, 26: 1517-1534, 2016. <https://doi.org/10.1890/15-1928>
- O'NEIL; *et al.* The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. **Harmful Algae** 14, 313–334, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>.
- PAERL; *et al.*, Evolving paradigms and challenges in estuarine and coastal eutrophication dynamics in a culturally and climatically stressed world. **Estuaries And Coasts**, v. 37, n. 2, pp. 243-258, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9773-x>
- PAERL, H. W.; HUISMAN, J. Blooms like it hot. **Science** (New York, N.Y.) 320: 57–58, 2008. <https://doi.org/10.1126/science.1155398>
- PAERL, H. W.; PAUL, V. J. Climate Change Links to Global Expansion of Harmful Cyanobacteria. **Water Research**, 46, 1349-1363, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.002>.
- REICHWALDT, E. S.; *et al.* Effects of the distribution of a toxic Microcystis bloom on the small-scale patchiness of zooplankton. **PloS One** v. 8.6 e66674, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066674>.
- SILVA; *et al.* Drivers of phytoplankton, bacterioplankton, and zooplankton carbon biomass in tropical hydroelectric reservoirs. **Limnológica** (Jena), v. 48, p. 1-10, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2014.04.004>.
- SINGH; *et al.* Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: An overview. **Critical Reviews in Biotechnology** 25, 73-95, 2005. <https://doi.org/10.1080/07388550500248498>.
- SOARES; *et al.*, Cyanobacterial dominance in Brazil: distribution and environmental preferences. **Hydrobiologia**, v. 717, p. 1–12, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1562-1>.
- SOGIN, M. L.; *et al.* Microbial diversity in the deep sea and the underexplored “rare biosphere.” **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 32, pp. 12115-12120, 2006. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605127103>.

SØNDERGAARD, M.; *et al.* Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. **Scientific World Journal**, v. 1, p. 427-442, 2001. <https://doi.org/10.1100/tsw.2001.72>.

SU, Y.; *et al.* Assessing the impacts of phosphorus inactive clay on phosphorus release control and phytoplankton community structure in eutrophic lakes. **Environmental Pollution**, v. 219, p. 620-630, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.029>.

TUNDISI, J. G.; *et al.* Reservoirs and human wellbeing: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology Instituto Internacional de Ecologia** 68: 1133–1135, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500020>.

VAN OOSTERHOUT, F.; LÜRLING, M. Effects of the novel 'Floc&Lock' lake restoration technique on *Daphnia* in Lake Rauwbraken (The Netherlands). **Journal of Plankton Research**. v.33, n.2, p. 255-263, 2011. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbq092>.

VENTER, J. C.; *et al.* Environmental genome shotgun sequencing of the Sargasso Sea. **Science**, v. 304, n. 5667, p. 66-74, 2004. <https://doi.org/10.1126/science.1093857>.

WAAJEN, G.; *et al.* Management of eutrophication in Lake De Kuil (The Netherlands) using combined flocculant-lanthanum modified bentonite treatment. **Water Research**, v. 97, p. 83-95, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.034>.

WAAJEN, G.; *et al.* Effects of combined flocculant – Lanthanum modified bentonite treatment on aquatic macroinvertebrate fauna. **Water Research**, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.075>.

WELKER, M.; VON DÖHREN, H. Cyanobacterial peptides—nature's own combinatorial biosynthesis. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 30, n. 4, p. 530-563, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2006.00022.x>

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. **Wastewater: The Untapped Resource**. UNESCO, Paris

YAMADA-FERRAZ, T. M.; *et al.* Assessment of Phoslock® application in a tropical eutrophic reservoir: an integrated evaluation from laboratory to field experiments. **Environmental Technology & Innovation**, 4, 194-205, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.07.002>

Estimativa de evapotranspiração por sensoriamento remoto para gestão de recursos hídricos no Brasil

Humberto Ribeiro da Rocha

Anderson Luis Ruhoff

Débora Regina Roberti

Luiz Eduardo de Oliveira Cruz e Aragão

Projeto construído em parceria de instituições para desenvolver tecnologias inovadoras para monitoramento do uso da água, em escala nacional, baseadas em dados meteorológicos, hidrológicos e de satélite. Entre os objetivos, buscou-se aprimorar estimativas de evapotranspiração (ET), em escala local e regional, utilizando-se modelos com base no balanço de energia, para várias regiões climáticas e condições de uso da terra no Brasil. Medições do balanço de energia e especialmente da ET pelo método da covariância de vórtices turbulentos, e de componentes do balanço hídrico em escala de bacia (umidade do solo, vazão, precipitação) foram utilizados para validação. De forma inédita, os resultados contribuíram para desenvolvimento de modelos de ET, como o geeSEBAL, o aprimoramento de outros modelos, como o modelo de ET denominado SSEBOP, e modelos de ET e estresse hídrico como o SiB2. Estes modelos utilizam informações do Landsat e MODIS como condição de contorno, e as forçantes meteorológicas como dados de medição local ou de reanálise como o ERA-5-Land, estimando a ET desde a escala horária até diária. As estimativas tiveram acurácia, com desempenho superior a outros modelos baseados no balanço de energia amplamente utilizados em escala global, mostrando-se úteis e eficientes ferramentas para a gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: balanço de energia; evapotranspiração; geeSEBAL; SSEBOP; SiB2, OpenET.

As questões da quantidade e a qualidade dos recursos hídricos é uma preocupação mundial, principalmente quando se espera um crescimento populacional de cerca de 9 bilhões até 2050 (UN-Water, 2010), demandando crescimento na produção de alimentos e, conseqüentemente, aumento do consumo de água na agricultura, que podem se intensificar com as mudanças climáticas, que indicam escassez de água mais severamente nas regiões áridas e semiáridas (Anderson *et al.*, 2012).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) busca assegurar a disponibilidade de água em qualidade e em quantidade adequada à atual e às futuras gerações, por meio dos seus instrumentos de gestão de recursos hídricos. Assim, é fundamental o conhecimento da demanda hídrica atual e a disponibilização de ferramentas que realizem o monitoramento sistemático da disponibilidade de água, com informações confiáveis para uma eficiente gestão.

Conforme o Atlas da Irrigação (ANA, 2021), há previsão de aumento de 45% de áreas irrigadas e de 42% no consumo de água para irrigação no Brasil até o ano de 2030, com o país entre os 10 maiores de área para irrigação do mundo. Convém frisar que o entendimento da disponibilidade hídrica em pequena escala é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que o Brasil utiliza cerca de 50% da captação de água bruta de mananciais para irrigação (ANA, 2021), em uma tendência de rápida expansão, mas com limitada rede de monitoramento.

Associado ao intenso uso da água na agricultura, crises relacionadas à disponibilidade hídrica decorrente das variações no regime de precipitação exigiram o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para o monitoramento e a fiscalização do uso da água, em áreas agrícolas irrigadas. Um dos processos hidrometeorológicos de fundamental importância para a compreensão da disponibilidade hídrica é a evapotranspiração (ET), que transfere grandes volumes de água para

a atmosfera, influenciando nas condições meteorológicas e disponibilidade de umidade do solo (Anderson *et al.*, 2012). Informações espacialmente distribuídas de ET, em uma escala espacial adequada às modificações antrópicas dos usos da água, vêm se apresentando como uma necessidade inerente aos processos de gestão de recursos hídricos, em escala nacional.

O monitoramento da ET, desde escalas locais, regionais e até continentais, usualmente é realizado a partir de observações feitas no campo e por sistemas de sensores remotos. Muitos esforços têm sido realizados para melhorar as estimativas espaciais e temporais da ET baseadas em dados de sensoriamento remoto, como uma poderosa ferramenta de informações, compatíveis com a escala de campo para o monitoramento do uso da água na agricultura (Biggs *et al.*, 2015).

O uso de informações derivadas de sensoriamento remoto para monitoramento do uso da água na irrigação consiste em tecnologias de estado da arte, como no Brasil (ANA, 2020), Estados Unidos (Melton *et al.*, 2022), na plataforma OpenET (disponível em <https://openetdata.org>), além de áreas do continente africano e do Oriente Médio, na plataforma FAO-WAPOR (disponível em <https://wapor.apps.fao.org/>).

As soluções baseadas em sensoriamento remoto foram desenvolvidas para minimizar inconsistências nos métodos relacionados às medições e informações de uso consuntivo da água, tanto na escala de lavoura agrícola quanto em grandes áreas (bacias hidrográficas até grandes regiões geográficas). Entretanto, os métodos existentes carecem de validação, de calibração e de aprimoramentos que reflitam a realidade climática e hidrológica da área da aplicação e que permita a obtenção de estimativas de ET com maior exatidão (MELTON *et al.*, 2022).

Um modelo simplificado de balanço de energia, o SSEBOP (Operational Simplified Surface Energy Balance) (Senay *et al.*, 2013), é amplamente utilizado e difundido pela ANA (ANA, 2020). Neste projeto, buscou-se avançar na complexidade de processos com modelos que representem a ET e a produtividade como fluxo de CO₂. Os avanços científicos do projeto resultaram em modelos parcimoniosos com representação complexa dos processos físicos, com eficiência para processamento em ambientes de computação em nuvem, o geeSEBAL (Google Earth Engine implementation of the Surface Energy Balance Algori-

thm for Land) (Laipelt *et al.*, 2021; Bastiaanssen *et al.*, 1998), disponível em <https://etbrasil.users.earthengine.app/view/geesebal>.

Um modelo com representação de multiprocessos para estimativa do balanço de energia e CO₂ com esquemas de assimilação de sensoriamento remoto para prescrição de parâmetros fisiológicos (transferência radiativa, momentum, conexão fotossíntese-transpiração, partição da ET, infiltração e retenção de água no solo), o Simple Biosphere model SiB2 (SELLERS *et al.* 1996), foi utilizado no projeto como uma das ferramentas de estimativa da ET. Nesse contexto estabeleceu-se uma parceria multi-institucional composta pelo IAG/USP, IPH/UFRGS, UFSM e DSR/INPE.

As atividades desenvolvidas por todo grupo envolveram modelagem com SSEBOP e geeSEBAL (IPH UFRGS), medição dos fluxos de superfície no bioma Pampa (UFSM), medição dos fluxos turbulentos e hidrológicos nos biomas Mata Atlântica e Cerrado, e modelagem de ET e estresse hídrico com o SiB2 model (IAG USP) e aplicações de modelagem hidrológica e sensoriamento remoto para análise de ET (DSR/INPE).

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Utilizar técnicas modernas de sensoriamento remoto, métodos micrometeorológicos e hidrometeorológicos de campo, para várias regiões do Brasil, com soluções modernas da estimativa de ET e em geral da disponibilidade hídrica superficial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. utilizar medições de campo para calibração e validação dos modelos de ET e do balanço de água e energia, utilizando torres de fluxo e sensores hidrometeorológicos, em vários sítios experimentais, no Brasil, incluindo vegetação natural (florestas tropicais e subtropicais,

remanescentes de cerrado e bioma pampa) e áreas agrícolas (soja, arroz irrigado, silvicultura e pastagem);

- II. aperfeiçoar modelos de estimativas de ET com auxílio de sensoriamento remoto, visando melhorar o balanço hídrico em escala local e regional.

IMPACTOS

Como avanço do estado da arte na área do conhecimento da linha de pesquisa, o uso de informações de sensoriamento remoto para monitoramento do uso da água, na agricultura consiste em uma excelente alternativa para áreas de diversas escalas. Nesse contexto, os métodos apresentaram grandes vantagens em estimar de ET de forma inovadora e consistente, tanto em escala de lavoura agrícola quanto em grandes áreas (desde bacias hidrográficas até grandes regiões geográficas), podendo ser utilizada para:

- I. propiciar a expansão da agricultura sustentável, comparando o uso da água em culturas agrícolas com a vegetação natural, de forma a minimizar os impactos relacionados as mudanças de uso da terra;
- II. disponibilizar informações de disponibilidade hídrica, para uso da água entre abastecimento humano, agricultura, energia e ecossistemas;
- III. possibilitar o monitoramento e a fiscalização do uso dos recursos hídricos em áreas irrigadas, critérios de outorga e direitos de uso da água;
- IV. possibilitar a gestão adequada dos recursos hídricos e governança para a utilização da água em conjuntura de criticidade hídrica.

No contexto do projeto, foram desenvolvidas pesquisas científicas em nível de mestrado, doutorado e pós-doutorado que envolveram (i) a validação de modelos de estimativa de ET com imagens dos satélites/sensores Landsat e MODIS: geeSEBAL (Laipelt *et al.*, 2021; Kayser *et al.*, 2022); SSEBOP (Andrade *et al.*,

2021); MOD16 (Souza *et al.*, 2019; Moreira *et al.*, 2019); GLEAM (Moreira *et al.*, 2019); SiB2 (Conceição *et al.* 2023), (ii) aperfeiçoamento dos fluxos de calor no solo em modelos de balanço de energia (Andrade *et al.*, 2020); (iii) impactos das mudanças de uso da terra em áreas de expansão agrícola dos biomas Cerrado e Amazonia (Laipelt *et al.*, 2020) e nos biomas brasileiros (Caballero *et al.*, 2022); (iv) impactos da propagação de secas na disponibilidade hídrica nos biomas brasileiros (Rossi *et al.*, 2023) e áreas de captação de reservatórios de água (Domingues *et al.* 2022); (v) análises de balanço hídrico em escala continental e quantificação de incertezas para estimativas de ET e disponibilidade hídrica (Moreira *et al.*, 2019; Ruhoff *et al.*, 2022); (vi) estimativas localmente relevantes de ET em escala continental por sensoriamento remoto termal (Andrade *et al.*, 2023; em fase de revisão); (vii) estimativas de evaporação de reservatórios em escala nacional (Rossi *et al.*, 2023; em fase de revisão); (viii) medição dos fluxos turbulentos (Rubert *et al.*, 2018, 2022; Diaz *et al.*, 2019) e das propriedades termais dos solos, no bioma Pampa (Zimmer *et al.*, 2023); (ix) medições hidrológicas e micrometeorológicas em bacias de monitoramento no bioma Mata Atlântica (Chittolina *et al.*, 2023; Chittolina 2020; Josef 2020; Josef *et al.* 2023) e Cerrado (Conceição *et al.* 2023; Conceição 2023) e (x) modelagem de ET, em grande escala na Amazonia (Baker *et al.*, 2021).

AVANÇO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO

O desenvolvimento do modelo geeSEBAL e o aprimoramento do modelo SSEBOP permitiu inúmeras aplicações para gestão de recursos hídricos em escala nacional, no Brasil, desde o monitoramento de áreas agrícolas em escala de campo (compatível com atividades de monitoramento e fiscalização *in situ*), estimativas de ET de áreas agrícolas irrigadas em intervalo de tempo diário a partir de imagens dos satélites Landsat e estimativas de séries temporais de intervalos de 8-dias e, mensal, a partir da utilização de imagens do sensor Terra e Aqua MODIS.

Os resultados obtidos a partir da validação e da análise desses modelos demonstram a confiabilidade para aplicações, no Brasil, no monitoramento do

uso da água na agricultura. A calibração e a validação dos modelos de balanço de energia para estimativas de ET somente se tornam possível em decorrência da disponibilidade de medições de fluxos turbulentos de calor latente e ET nos diferentes biomas brasileiros, principalmente para redução de viés, ajustes de fase e melhoria da acurácia.

A baixa disponibilidade de informações medidas pode, por exemplo, reduzir o desempenho dos modelos em função de menor grau de calibração e baixa da representatividade espacial dos processos de interação superfície-atmosfera. Os resultados científicos obtidos neste projeto vêm de encontro a fomentar diagnósticos do balanço hídrico, com ênfase na ET e na disponibilidade hídrica, desde escalas locais até escalas continentais, para auxiliar no gerenciamento das demandas de água e atendendo aos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

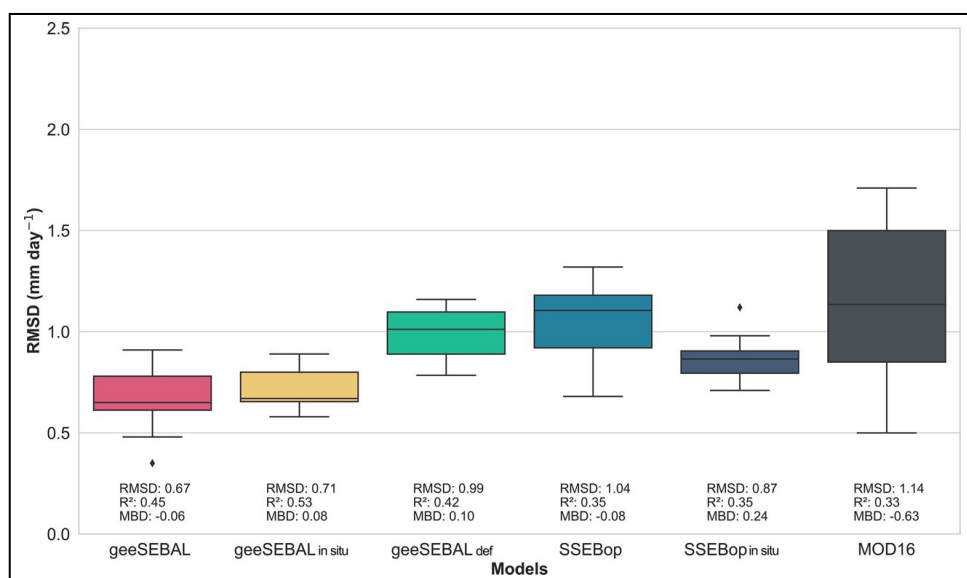


Figura 1. Acurácia das estimativas de ET no Brasil a partir da comparação com dados medidos pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos (Eddy Covariance) para os modelos geeSEBAL, SSEBOP e MOD16 utilizando dados meteorológicos observados e reanálise ERA5-Land. **Fonte:** Laipelt *et al.* (2021).

O desenvolvimento do modelo geeSEBAL (Laipelt *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2023) pode ser aplicado a imagens Landsat e MODIS para estimativas multi escala, de 30 a 500 m, respectivamente, bem como a atualização do modelo SSEBOP (Senay *et al.*, 2023), permitiu a obtenção de estimativas de ET para o Brasil com alta acurácia (Figura 1).

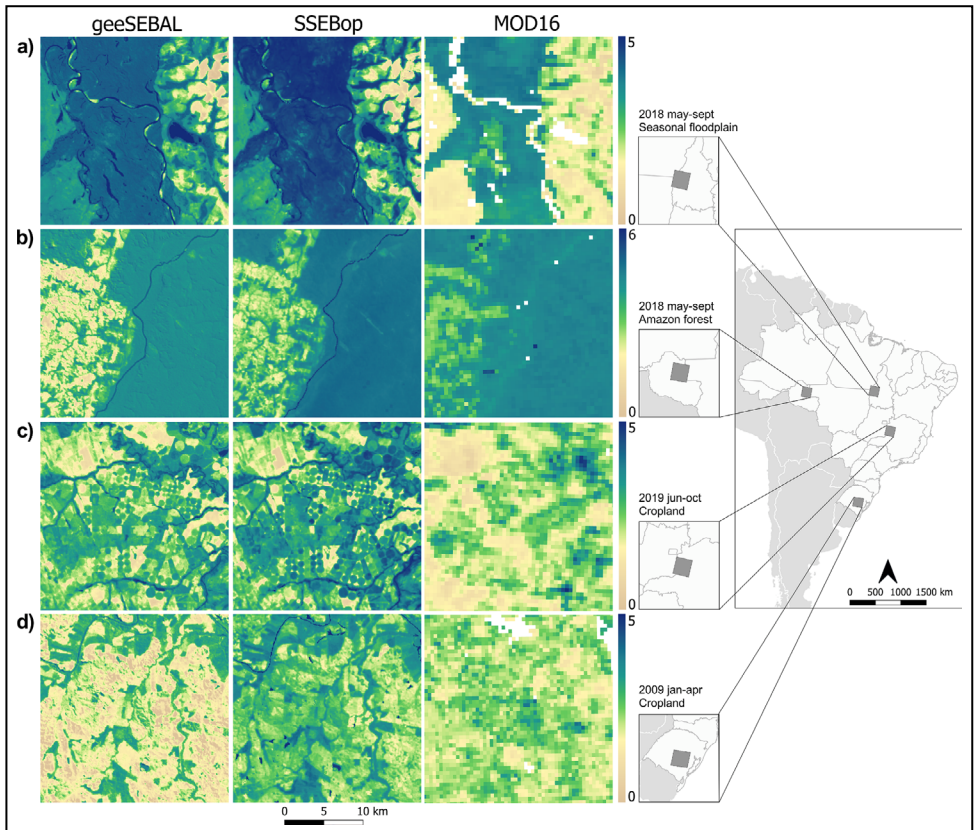


Figura 2. Padrões espaciais de ET em distintas condições climáticas e de uso e cobertura da terra no Brasil, obtidas a partir do processamento de series históricas de imagens LANDSAT utilizando computação em nuvem e processamento com base em múltiplos modelos (geeSEBAL, SSEBOP e MOD16). **Fonte:** Laipelt *et al.* (2021).

Os resultados indicam potencialidade para monitoramento de áreas agrícolas e áreas que sofreram mudanças de uso e cobertura da terra. A Figura 2 apresenta, como exemplo, o padrão espacial e temporal de áreas com transição de

mudanças de uso e cobertura da terra em áreas selecionadas no Brasil. É possível observar disponibilidade hídrica superficial de áreas úmidas (Fig. 2a), diferenças nas taxas de ET de áreas naturais (florestas) e áreas agrícolas/pastagens (Fig. 2b) e uso da água em áreas irrigadas na região central e sul do Brasil, com pivôs de irrigação (Fig. 2c) e irrigação por inundação (Fig. 2d).

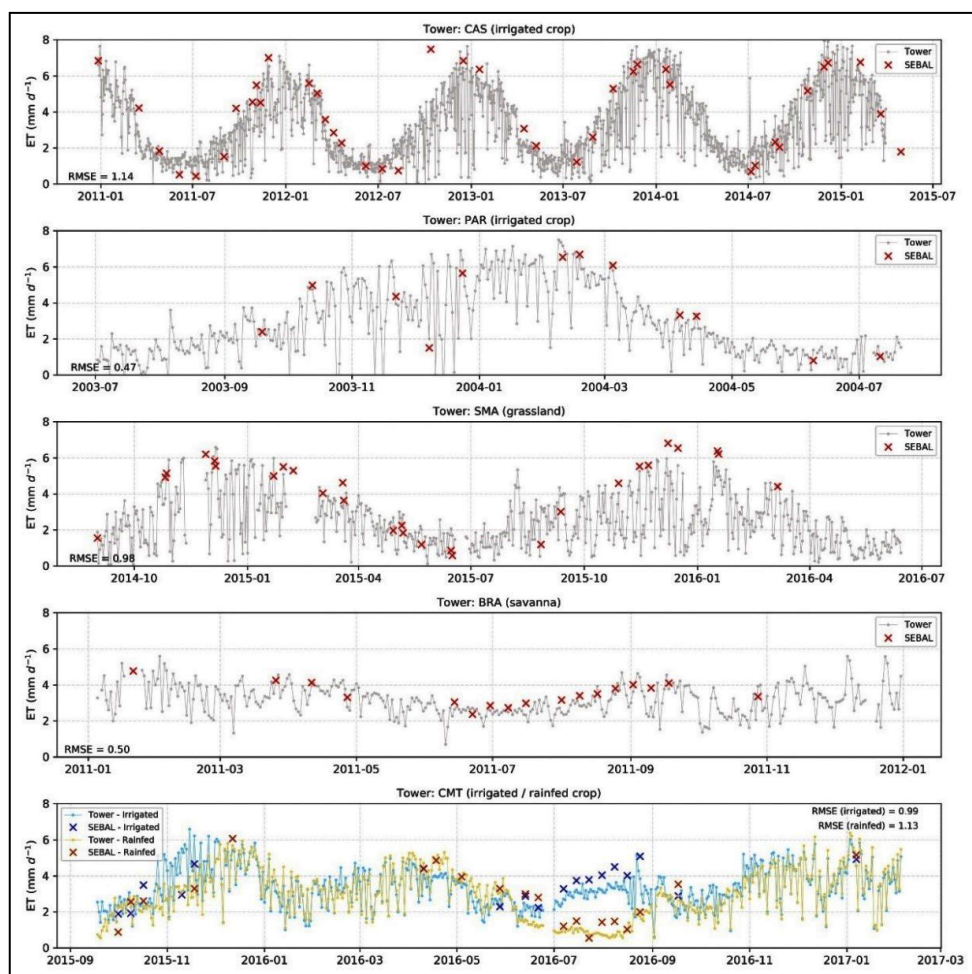


Figura 3. Comparação das estimativas de ET a partir do modelo geeSEBAL em áreas agrícolas irrigadas e não-irrigadas, em comparação com áreas de vegetação natural. Créditos dos dados: SULFLUX (para os sítios CAS, PAR e SMA), LBA-ECO (para o sítio BRA) e Lathuilliere *et al.* (2018) para o sítio CMT. **Crédito da imagem:** Rafael Kayser.

Aplicações do modelo geeSEBAL com imagens Landsat em diferentes áreas do bioma pampa são apresentadas na Figura 3, na qual as áreas agrícolas irrigadas correspondem aos sítios experimentais CAS e PAR (localização em Cachoeira do Sul e Paraíso do Sul (RS), respectivamente, com cultivo de arroz irrigado por inunda o), CMT (localiza o em Lucas do Rio Verde (MT), com cultivos agr colas em piv o de irriga o, em compara o com  reas de vegeta o natural SMA (Santa Maria (RS, com vegeta o de gram neas do bioma Pampa) e BRA (localiza o em Bras lia (DF), com vegeta o nativa de cerrado).

Verifica-se a grande capacidade do modelo, na diferencia o de diferentes condi es de uso e cobertura da terra, possibilitando a distin o entre  reas agr colas irrigadas e n o-irrigadas, tal como evidenciado no s tio CMT (Lathuilliere *et al.*, 2018) que diferencia os dois tipos de cultivos, em compara o com  reas de vegeta o natural.

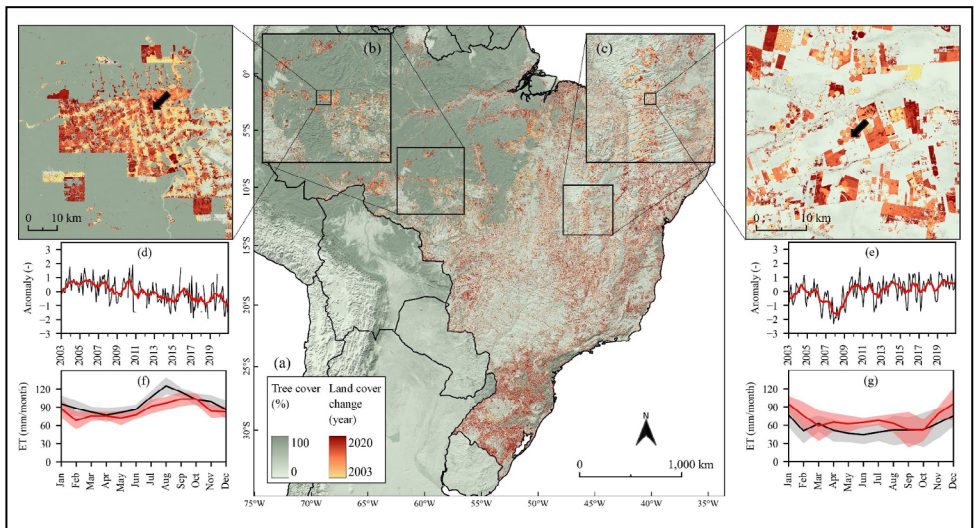


Figura 4. Mudan as de uso e cobertura da terra no Brasil e impactos no processo de ET decorrentes de expans o da agricultura de sequeiro e agricultura irrigada, estimados a partir de imagens do sensor MODIS para o per odo 2003-2020. Fonte: Andrade *et al.*, 2023.

Em escala continental, a aplica o do modelo geeSEBAL com imagens MODIS (Andrade *et al.*, 2023), usando o balan o de energia, possibilitou a

obtenção de estimativas localmente relevantes de ET, em escala continental por sensoriamento remoto termal. As estimativas agrupadas em intervalos temporais de 8 dias permitem uma compreensão ampla dos processos de ET em grandes áreas, permitindo, por exemplo, análises detalhadas de balanço e disponibilidade hídricas nas principais bacias hidrográficas da América do Sul, impactos das mudanças de uso e cobertura da terra nas interações superfície-atmosfera (Figura 4) e estimativas de evaporação dos grandes reservatórios brasileiros (Figura 5).

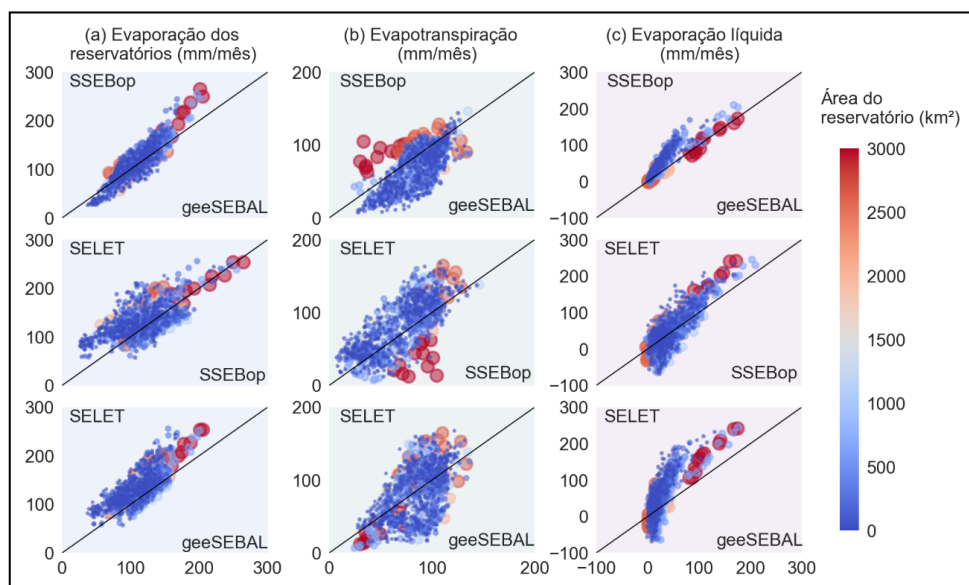


Figura 5. Estimativas (2003-2019) dos modelos geeSEBAL e SSEBop em comparação com o modelo de evaporação SELET para (a) evaporação de águas abertas, (b) ET do entorno (em área de 5 km ao redor do reservatório) e (c) evaporação líquida, definida como a evaporação do lago menos a ET do entorno.

Obteve-se um entendimento mais amplo do balanço de energia nos ecossistemas de Cerrado (Cerrado restrito) e na Mata Atlântica (pastagem), ao investigar o papel e impacto da variabilidade climática na ET, utilizando um conjunto de moderno instrumental de medições de campo por um intervalo bastante extenso, e com o modelo SiB2 (Conceição 2020; Conceição *et al.* 2023).

Para minimizar as incertezas da estimativa dos fluxos de calor sensível e ET medidos pelo método da covariância dos vórtices turbulentos (eddy covariance), devido ao fechamento do balanço de energia, aplicou-se a correção baseada na Razão de Bowen. As variáveis meteorológicas e os fluxos de calor sensível e latente mostraram sazonalidade marcante, mais notável no cerrado.

A ET anual foi significativamente maior na Mata Atlântica, separadamente por estação chuvosa e seca. Esse padrão sazonal tem uma contrapartida no campo espacial médio do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), marcadamente no Cerrado PEG, com valores altos no Verão (janeiro) e menores no fim do inverno (setembro), e com baixa sazonalidade na Mata Atlântica (Figura 6).

Para o preenchimento de falhas das séries históricas dos fluxos micrometeorológicos na resolução horária, utilizamos o Simple Biosphere model (SiB2) (Sellers *et al.* 1996), forçado com dados meteorológicos medidos no campo, e calibrado com parâmetros de índice de área foliar e fração de radiação fotossinteticamente absorvida estimadas com sensoriamento remoto, na escala mensal.

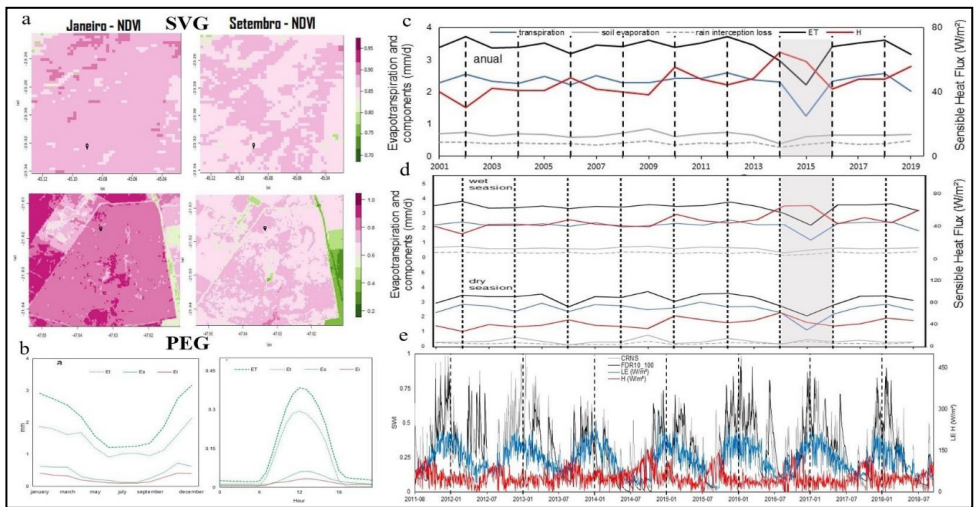


Figura 6. Estimativa nas estações experimentais PEG (Cerrado) e SVG (Mata Atlântica): (a) NDVI sazonal SVG (topo) e PEG (abaixo), (b) ciclo mensal médio e diário da ET e suas componentes no PEG, (c) média mensal dos fluxos de calor sensível e ET no PEG, (d) id. no período seco e chuvoso, (e) id. base diária. Fonte: Conceição et al (2023), Conceição (2023).

O modelo separa a ET em três componentes, incluindo transpiração, evaporação do solo e perda por interceptação da chuva, respectivamente. Para o cerrado, a média da transpiração correspondeu a maior contribuição de 68% de ET (Figura 6b), enquanto a evaporação do solo e a interceptação representaram 20% e 12%, respectivamente. Em termos da variação sazonal, a partição destas componentes é semelhante à média anual na estação chuvosa, porém na estação seca há redução da evaporação do solo (11%) e da perda por interceptação (7,5%), enquanto a transpiração (81%) aumenta.

No Cerrado o padrão dos fluxos sensível e latente apresentaram sazonalidade, com fase e amplitudes diferentes, sendo o calor latente maior no verão, concorrente com a energia solar, e o calor sensível maior no inverno ao final da estação seca (geralmente em agosto). Na variabilidade interanual houve uma quebra no padrão temporal dos fluxos de calor sensível e latente no ano de 2014 (Figura 6e), em decorrência da seca (prolongada até 2015), com queda dos fluxos de calor latente e aumento do calor sensível na estação seca de 2014 e 2015. A Tabela 1 apresenta a síntese das medições realizadas nas estações experimentais PEG (Cerrado) e SVG (Mata Atlântica).

Tabela 1. Médias dos fluxos turbulentos nas estações PEG (Cerrado) e SVG (Mata Atlântica).

		PRECIPITAÇÃO	LE (W/m ²)	H (W/m ²)	ET (mm/d)
Anual (mm/ano)	PEG	1309	100,4	46,1	3,4
	SVG	1957	122,0	60,3	4,2
Estação chuvosa (mm)	PEG	1108	117,0	47,1	4,0
	SVG	2048	133,2	65,0	4,5
Estação seca (mm)	PEG	128	67,8	44,0	2,2
	SVG	797	97,9	49,9	3,3

O sítio experimental de pastagem está na bacia das Posses (PO), Extrema, MG, investigado nos intervalos 2017/2018 e 2020/2021, com medições micro-meteorológicas, e hidrológicas na foz (12 km² de área de contribuição) e em 4 sub-bacias (Q1, Q2, Q3 e Q4). A região de PO tem precipitação média de 1500 mm ano⁻¹ e temperatura média anual de 18,4°C. A cobertura da superfície é

composta principalmente por pastagem (aproximadamente 60% da área) e o restante como pequenos talhões de eucalipto, áreas de restauração florestal e fragmentos de Mata Atlântica (Chittolina, 2022).

Para as medições foi utilizada uma complexa rede de multi-instrumentação, com precipitação, vazão e estimativas de escoamento básico e escoamento direto, umidade do solo, nível do aquífero, ET com métodos micrometeorológicos (Eddy Covariance e Razão de Bowen, com correções de fechamento de balanço de energia e modelagem baseada no balanço hídrico. Na análise temporal hidrológica, o coeficiente de escoamento médio variou de 23 a 37% entre as bacias e o escoamento básico respondeu pela maior parte da vazão durante a estação seca, e cerca de metade nos meses mais úmidos (de 62% a 75%), atingindo picos em março, altamente covariado com o a resposta do lençol freático.

Todas as bacias apresentaram limiares de resposta ao escoamento direto, que só se ocorreu acima de limiares bem definidos, para a precipitação de aproximadamente 10 mm por evento, e umidade do solo de $\approx 45\%$ a 57% , e do nível do aquífero de ≈ 135 cm (Figura 7) (Chittolina *et al.*, 2023).

A ET média anual estimada para PO foi de $2,8 \text{ mm d}^{-1}$, mostrando uma variabilidade sazonal entre $\approx 1,3 \text{ mm dia}^{-1}$, em julho, e altos fluxos na estação chuvosa (durante cerca de 5 meses) de $\approx 3,5 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 8). O índice evaporativo médio anual em todas as bacias foi mais bem estimado, variando de $\approx 59\%$ a 80% da precipitação.

Em paralelo às medições de ET e vazão nas microbacias, investigamos em Extrema os padrões hidrológicos do regime de vazão de um conjunto de 39 nascentes com medidas diretas em áreas de surgência, de forma a auxiliar a estimativa do balanço hidrológico e da ET para as nascentes, no intervalo de 2016 a 2019 (Josef, 2020; Josef *et al.* 2023). Essas séries históricas foram desagregadas para a resolução diária, utilizando-se métodos estatísticos de regressão linear múltipla e análise de componentes principais, contando com medições de nível do aquífero e precipitação diária como variáveis preditoras.

O regime de vazão das nascentes mostrou características sazonais, sem exceção para todas as nascentes, com estimativas da vazão média anual distribuídas em um intervalo de variação bastante amplo, entre ≈ 0.001 a 10 L s^{-1} , sob distribuição unimodal, que respondeu por mais de 80% de ocorrência entre 0.1

e 10 L s^{-1} , e na vazão específica com uma distribuição semelhantes, que variou predominantemente entre 0.1 e 5 mm dia^{-1} .

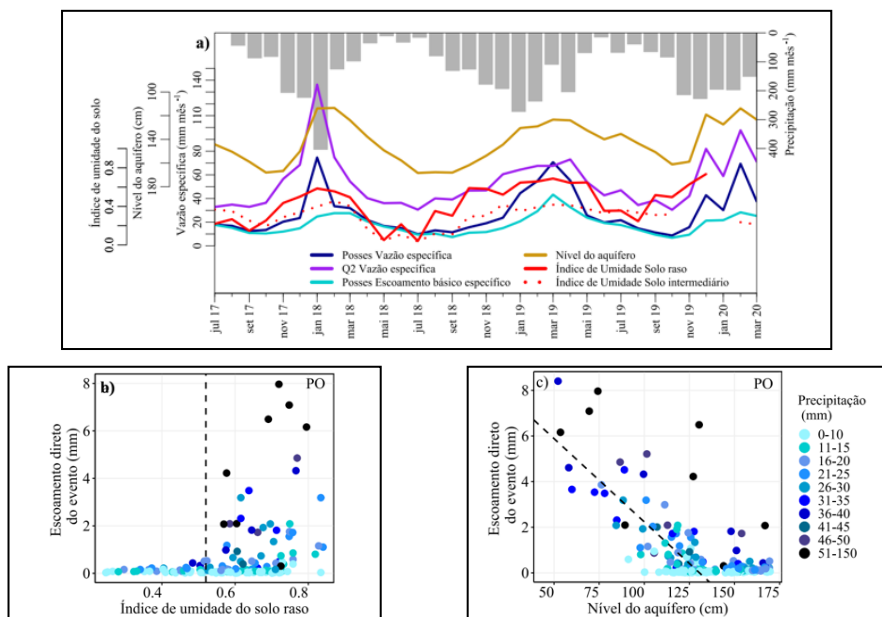


Figura 7. (a) Relação entre precipitação (mm mês^{-1}), vazão específica (mm mês^{-1}) para a bacia do Posse e para bacia Q2, escoamento básico específico (mm mês^{-1}), nível do aquífero (cm) e Índice de umidade do solo raso e intermediário; relação entre escoamento direto (mm evento⁻¹) e (b) índice de umidade de solo raso; e (c) nível do aquífero (cm); **Fonte:** Chittolina *et al.* (2023).

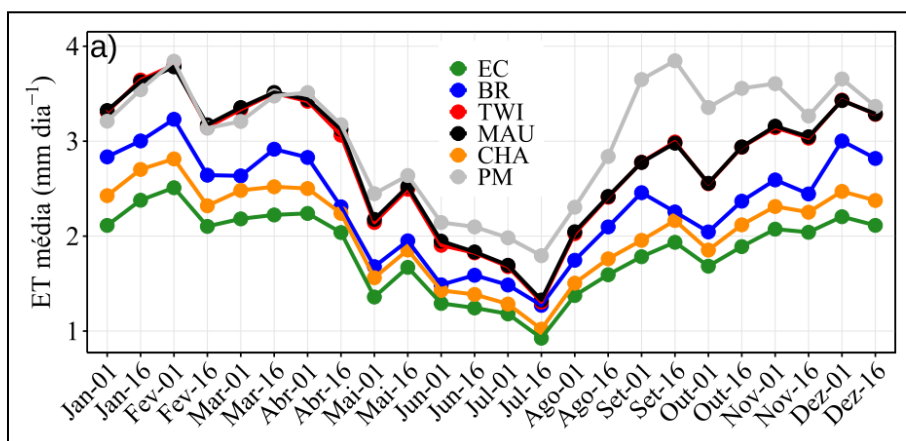


Figura 8. Média de 15 dias de estimativas de ET para os diferentes métodos micrometeorológicos: EC, CHA, BR, TWI, MAU e PM. **Fonte:** Chittolina *et al.* (2023).

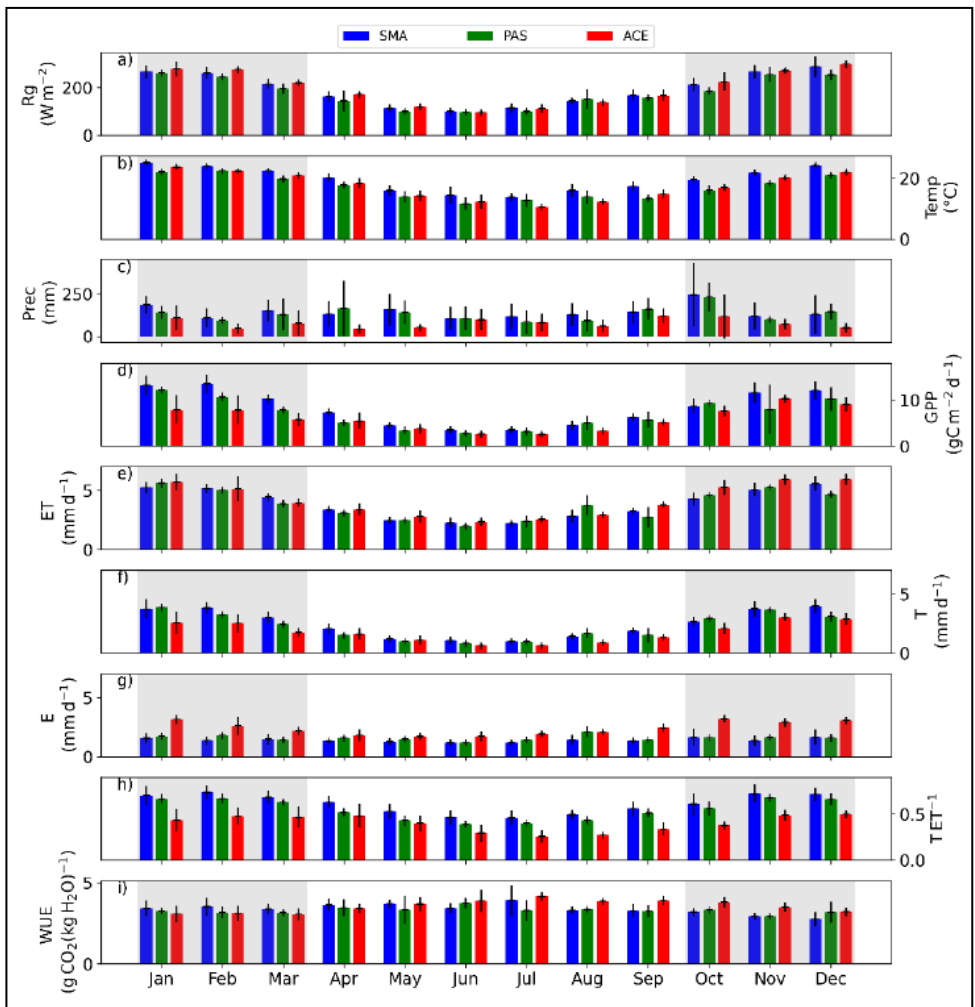


Figura 9. Ciclo médio anual mensal e o desvio padrão para as variáveis radiação global (Rg), temperatura do ar (Temp), precipitação (Prec), assimilação de carbono pela fotossíntese (GPP), (ET), evaporação (E), transpiração (T), relação $T ET^{-1}$ e uso eficiente da água (WUE). As áreas destacadas em cinza representam as estações de primavera e verão.

O padrão de ET das pastagens nativas do bioma Pampa, no Rio Grande do Sul, foi descrito mediante medidas realizadas em três sítios experimentais com torres de fluxo. Para tanto foram monitoradas áreas naturais nos municípios de Santa Maria (SMA), Pedras Altas (PAS) e em Acegua (ACE). Os valores

médios mensais das variáveis atmosféricas radiação global, temperatura do ar e precipitação, assimilação de carbono pela fotossíntese, ET, evaporação (E), transpiração (T), $T ET^{-1}$ e uso eficiente da água são apresentadas na Figura 9. A ET diária média anual na região variou entre 4,81 e 5,93 mm dia⁻¹, com valores entre 44% e 67 % maiores na primavera e verão do que no outono e no inverno. A ET foi particionada em evaporação e transpiração, a partir do uso eficiente da água.

Embora, durante as estações de primavera/verão, a transpiração tenha comandado o processo de ET, a relação entre $T ET^{-1}$ anual variou entre 41% e 67%. A precipitação mostrou uma forte influência sobre o padrão de evaporação e transpiração; sendo que anos com maiores índices pluviométricos apresentaram maior evaporação, enquanto nos anos mais secos, observou-se menores valores de evaporação. Em ACE, o processo de evaporação foi dominante na ET, enquanto nos demais sítios a componente transpiração foi preponderante. A radiação solar foi a variável com maior correlação tanto em escala diária quanto anual com a transpiração.

O projeto CAPES-ANA permitiu a continuidade da coleta de longo prazo da ET no sítio experimental SMA, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, sobre sistema de produção pecuária em pastagem natural no Bioma Pampa Brasileiro.

As coletas nesse sítio iniciaram em 2014 e, portanto, foram testemunhas de diversos fenômenos climáticos atuando na região, tais como ocorrência de eventos ENOS, nos quais eventos de El Nino atuam no aumento da precipitação, enquanto eventos La Nina diminuem os volumes acumulados de precipitação. Analisando a influência do El Nino e La Nina na ET observou-se que nos períodos de El Nino, tanto a ET real quanto a de referência (ET_0) diminuem, enquanto nos períodos de La Nina verificou-se que ambas são moderadas.

Esse resultado tem impacto importante para o entendimento dos processos de ET nestes eventos climáticos, já que em períodos com maior disponibilidade hídrica como no El Nino seria esperado maior valores de ET, mas a demanda evaporativa nestes períodos diminui. Em período de La Nina forte os valores de ET real de referência também são menores que nos períodos normais, impactando assim a disponibilidade hídrica e as atividades agrícolas.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS E PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Foram concluídas 11 dissertações de mestrado, 11 teses de doutorado, treinamento de 3 Pós-doutorados, 3 monografias de iniciação científica e 6 trabalhos de conclusão de curso. Em relação à produção científica e tecnológica foram 33 artigos científicos publicados em revistas científicas e 2 submetidos, 1 capítulo de livro além de diversos outros produtos relacionados ao projeto.

I. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

MESTRADO

RICHARD LOBATO. Variabilidade dos fluxos de energia e evapotranspiração sob influência do ENOS no bioma pampa brasileira. 2022. UFSM.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/26377>

LUCAS AUGUSTO FAGUNDES. Estimativa das componentes da equação do balanço de radiação utilizando o modelo sebal. 2019. UFSM.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/22350>

TIAGO BREMM. Análise dos fluxos de CO₂ em diferentes tipos de manejo pastoril no bioma pampa. 2020. UFSM.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/17164>

IZABELLA OLIVEIRA DA COSTA. Hidroclimatologia de sub-bacias do Rio Paraíba do Sul com medições de campo e satélite. 2022. USP.

EDUARDO FERNANDES HENRIQUES. Padrões hidroclimatológicos de bacias de mesoescala em São Paulo. 2020. USP
<https://doi.org/10.11606/D.14.2020.tde-18042020-094417>

JONATHAN WENDELL ALVES. VARIABILIDADE HIDROCLIMATOLÓGICA EM ESCALA DE BACIA NO SUDESTE DO BRASIL. USP.

LEONARDO LAIPELT DOS SANTOS. Impactos do desmatamento e das mudanças climáticas na evapotranspiração da Amazônia. 2023. IPH UFRGS.

JULIA BRUSSO ROSSI. Estimativas de evapotranspiração em reservatórios no Brasil por sensoriamento remoto. 2023. IPH UFRGS.
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/262633>

FERNANDO BASQUIROTO DE SOUZA. Downscaling de imagens MODIS e LANDSAT para estimativas de evapotranspiração em alta resolução espacial e temporal. 2022. IPH UFRGS.
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/256804>

ELISA DE MELLO KICH. Calibração automática do modelo de estimativa de evapotranspiração por sensoriamento remoto (SEBAL). 2018. IPH UFRGS.
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/189163>

EDSON MAURICIO MARQUES FERRARI. Análise dos impactos das mudanças de uso e cobertura da terra nos processos hidrológicos da bacia do rio Araguaia. 2021. INPE.
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/46FMG4S>

DOCTORADO

GUSTAVO PUJOL VEECK. Considerações biofísicas da interação superfície e atmosfera em agricultura e pecuária no estado do RS. 2023. UFSM

TAMIRES ZIMMER. Characterization of soil thermal dynamics in natural pasture over the Brazilian pampa biome: estimates of soil thermal properties. 2022. UFSM.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/26042>

LEUGIM CORTEZE ROMIO. Aperfeiçoamento de modelos numéricos para estimativa de propriedades térmicas do solo. 2019. UFSM.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/19581>

MARCELO BORTOLUZZI DIAZ. Análise das componentes dos fluxos superficiais de massa e energia na região sul do Brasil. 2018. UFSM.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/15118>

LUCAS FERNANDO CARVALHO DA CONCEIÇÃO. Estimativas de balanço hídrico e produtividade em culturas agrícolas no Brasil com modelagem e sensoriamento remoto. USP.

MARIANE CHITTOLINA. Resposta hidrológica de bacias de cabeceira na Serra da Mantiqueira avaliada com multi-instrumentação. 2022. USP
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-05102022-201445/pt-br.php>

LEONARDO MORENO DOMINGUES. Impacto hidrológico das mudanças climáticas na bacia do Rio Jaguari do Sistema Cantareira. 2020. USP.
<https://doi.org/10.11606/T.14.2020.tde-01022021-185226>

CARLA FERREIRA JOSEF. Regime hidrológico das nascentes na bacia do Ribeirão das Posses, Extrema, MG. 2020. USP.
<https://doi.org/10.11606/T.106.2020.tde-06092022-121049>

ADRIANA APARECIDA MOREIRA. Water and Energy fluxes in South America: An integrated approach based on remote sensing and flux measurements. 2022. IPH UFRGS.
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/240008>

BRUNO CÉSAR COMINI DE ANDRADE. Multi-scale actual evapotranspiration mapping in South America with remote sensing data and the geeSEBAL model. 2019. IPH UFRGS.
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/263444>

CÁSSIA BROCCA CABALLERO. The dynamics of land use and land cover in Brazil and the impacts on surface-atmosphere interactions." Início: 2019. IPH UFRGS.

PÓS-DOCTORADO

VANESSA DE ARRUDA SOUZA. Integrando medições de fluxo e modelos de sensoriamento remoto para estimativas de evapotranspiração. 2022-2023 IPH UFRGS.

JOSEF, C. F. Desagregação temporal de medições de vazão de nascentes em área do bioma Mata Atlântica com modelos estatísticos. USP.

PONTES, L. M. Avaliação de dados hidrológicos em área na Mata Atlântica, e prospecção de cenários climáticos futuros. USP.

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

BERNARDO IVO GOLTZ. Fechamento de falhas em dados meteorológicos utilizando inteligência artificial. 2021-2022. Iniciação científica (Graduação em Engenharia Elétrica). UFSM.

JOÃO ANTONIO VOLTZ DA SILVA. Wavelet para análises temporais de fluxos turbulentos. 2021-2022. Iniciação científica. UFSM.

DEBORA DA SILVA. Evapotranspiração obtido pelo método *Eddy Covariance* em cultivo de Soja. Início: 2020-2021. Iniciação científica. UFSM.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DÉBORA CARBONELL MARTINS STOLZMANN. Caracterização dos eventos de seca no Rio Grande do Sul e impactos na produção agrícola. 2022. IPH UFRGS.

ALINE DA SILVA ZANINI. Avaliação do impacto da silvicultura na disponibilidade hídrica da bacia do Alto Jequitinhonha (MG). 2022. IPH UFRGS.

GABRIELE LEÃO CYGANSKI. Avaliação de modelos globais e fusão de dados de evapotranspiração na América do Sul. 2021. IPH UFRGS.

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235272>

LEONARDO LAIPELT DOS SANTOS. geeSEBAL: Uma ferramenta Google Earth Engine para estimativas de series temporais de evapotranspiração. 2020. IPH UFRGS.

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/219375>

JULIA BRUSSO ROSSI. Representação de eventos de seca no Brasil por produtos de sensoriamento remoto. 2020. IPH UFRGS.

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/219715>

PAULA SULZBACH RILHO. Identificação de taxas de evapotranspiração por sensoriamento remoto em diferentes cultivos agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. 2018. IPH UFRGS.

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/194853>

II PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

ARTIGOS CIENTÍFICOS

ZIMMER, T.; et al. Estimation of soil thermal properties using conduction and conduction-convection heat transfer equations in the Brazilian Pampa biome. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 338, p. 109517, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109517>

MOREIRA, V. S.; et al. Impacts of climate change on water fluxes and soybean growth in southern Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 54, p. e20228398, 2023.

<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230014>

RUBERT, G. C.; et al. Patterns and Controls of the Latent and Sensible Heat Fluxes in the Brazilian Pampa Biome. *Atmosphere*, v. 13, p. 23, 2022.

<https://doi.org/10.3390/atmos13010023>

KÄFER, P. S.; et al. Assessing uncertainties in estimating surface energy fluxes from remote sensing over natural grasslands in Brazil. *Theoretical And Applied Climatology*, v. 148, p. 751-765, 2022.

<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03869-6>

ROMIO, L. C.; et al. Influence of Different Methods to Estimate the Soil Thermal Properties from Experimental Dataset. *Land*, v. 11, p. 1960, 2022.

<https://doi.org/10.3390/land11111960>

AIMI, D.; et al. Evaluation of Atmospheric Downward Longwave Radiation in the Brazilian Pampa Region. *Atmosphere*, v. 12, p. 28, 2021.

<https://doi.org/10.3390/atmos12010028>

- ZIMMER, T.; *et al.* Influence of clearness index and soil moisture in the soil thermal dynamic in natural pasture in the Brazilian Pampa biome. *Geoderma*, v. 378, p. 114582, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114582>
- KAFER, P. S.; *et al.* Artificial neural networks model based on remote sensing to retrieve evapotranspiration over the Brazilian Pampa. *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 14, p. 038504, 2020.
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.14.038504>
- ROCHA, N. S.; *et al.* The Influence of Land Surface Temperature in Evapotranspiration Estimated by the S-SEBI Model. *Atmosphere*, v. 11, p. 1059, 2020.
<https://doi.org/10.3390/atmos11101059>
- DIAZ, M. B.; *et al.* Dynamics of the superficial fluxes over a flooded rice paddy in southern Brazil. *Agricultural And Forest Meteorology*, v. 276-277, p. 107650, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107650>
- ROMIO, L. C.; *et al.* A Numerical Model to Estimate the Soil Thermal Conductivity Using Field Experimental Data. *Applied Sciences-Basel*, v. 22, p. 4799, 2019.
<https://doi.org/10.3390/app9224799>
- RUBERT, G. C.; *et al.* Evapotranspiration of the Brazilian Pampa Biome: Seasonality and Influential Factors. *Water*, v. 10, p. 1864, 2018.
<https://doi.org/10.3390/w10121864>
- CHITTOLINA, M.; *et al.* Hydrological response of a headwater catchment in Southeast Brazil – Threshold patterns of stormflow response. *Hydrological Processes*, 37(5), e14879. 2023.
<https://doi.org/10.1002/hyp.14879>
- DOMINGUES, L. M.; *et al.* Serial droughts and loss of hydrologic resilience in a subtropical basin: The case of water inflow into the Cantareira reservoir system in Brazil during 2013-2021. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 44, p. 101235, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101235>
- BAKER, J. C. A.; *et al.* Evapotranspiration in the Amazon: spatial patterns, seasonality, and recent trends in observations, reanalysis, and climate models. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 25, p. 2279-2300, 2021.
<https://doi.org/10.5194/hess-25-2279-2021>
- TAN, Z. H.; *et al.* Surface conductance for evapotranspiration of tropical forests: Calculations, variations, and controls. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 275, p. 317-328, 2019.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.06.006>

CONCEIÇÃO, L. C.; *et al.* Interannual variability of water and heat fluxes in a woodland savanna (Cerrado) in southeast Brazil: effects of drought and soil moisture (submitted to Agricultural and Forest Meteorology 2023).

JOSEF, C. F.; *et al.* Characterization of water balance in a cluster of springs in the Atlantic Forest biome (submitted to Hydrological Processes, 2023).

MOREIRA, A. A.; *et al.* Assessment of terrestrial water balance using remote sensing data in South America. *Journal of Hydrology*, p. 131-147, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.021>

SOUZA, V. A.; *et al.* Evaluation of MOD16 Algorithm over Irrigated Rice Paddy Using Flux Tower Measurements in Southern Brazil. *Water*, v. 11, p. 1911, 2019.
<https://doi.org/10.3390/w11091911>

MOREIRA, A. A.; *et al.* Avaliação dos produtos de evapotranspiração baseados em sensoriamento remoto MOD16 e GLEAM em sítios de fluxos turbulentos do Programa LBA. *Ciência e Natura*, v. 40, p. 112, 2018.
<https://doi.org/10.5902/2179460X30714>

LAIPELT, L. S.; *et al.* Assessment of an Automated Calibration of the SEBAL Algorithm to Estimate Dry-Season Surface-Energy Partitioning in a Forest-Savanna Transition in Brazil. *Remote Sensing*, v. 12, p. 1108, 2020.
<https://doi.org/10.3390/rs12071108>

ANDRADE, B. C. C.; *et al.* Artificial neural network model of soil heat flux over multiple land covers in South America. *Remote Sensing*, v. 13, p. 2337, 2021.
<https://doi.org/10.3390/rs13122337>

LAIPELT, L. S.; *et al.* Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 178, p. 81-96, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.018>

ANDRADE, B. C. C.; *et al.* Remote sensing-based actual evapotranspiration assessment in a data-scarce area of Brazil: A case study of the Urucuia Aquifer System. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 1, p. 102298, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102298>

GONÇALVES, I. Z.; *et al.* Remote sensing-based evapotranspiration modeling using geeSEBAL for sugarcane irrigation management in Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 274, p. 107965, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107965>

RUHOFF, A.; *et al.* Global Evapotranspiration Datasets Assessment Using Water Balance in South America. *Remote Sensing*, v. 14, p. 2526, 2022.
<https://doi.org/10.3390/rs14112526>

- CABALLERO, C. B.; et al.** Land use and land cover changes and their impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: A systematic review. *Science of the Total Environment*, v. 808, p. 152134, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152134>
- RUBERT, G. C. D.; et al.** Patterns and Controls of the Latent and Sensible Heat Fluxes in the Brazilian Pampa Biome. *Atmosphere*, v. 13, p. 23, 2022.
<https://doi.org/10.3390/atmos13010023>
- KAYSER, R. H. B.; et al.** Assessing geeSEBAL automated calibration and meteorological reanalysis uncertainties to estimate evapotranspiration in subtropical humid climates. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 314, p. 108775-108791, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108775>
- ROSSI, J. B.; et al.** Drought propagation in Brazilian biomes revealed by remote sensing. *Remote Sensing*, v. 15, p. 454, 2023.
<https://doi.org/10.3390/rs15020454>
- COMINI, B.; et al.** geeSEBAL-MODIS: Continental scale evapotranspiration based on the surface energy balance for South America. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2023.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17579.11041>
- SOUZA, F. B.; et al.** A MODIS-Landsat cloud-based spatiotemporal downscaling algorithm to estimate land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 2023.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2238327>
- CABALLERO, C. B.; et al.** Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. *Science of the Total Environment*. 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166323>
- ROSSI, J. B.; et al.** How much evaporation occurs in Brazilian reservoirs? A remote sensing perspective. *Journal of Hydrology*. 2023.

CAPÍTULO DE LIVRO

- ROBERTI, D. R.; et al.** *Interação entre os agroecossistemas e a atmosfera. Resultados Comparativos de 32 anos dos sistemas Plantio Direto e Convencional.* Porto Alegre: SESCOOP RS, v. 1, p. 177-204. 2019.

OUTROS PRODUTOS RELACIONADOS AO PROJETO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO dos ecossistemas e uso eficiente da água. Apresentação em Feiras agropecuárias do RS, Expointer, Universo Pecuária 2022, Expodireto 2023.

APLICATIVO GESEBAL para estimativa de evapotranspiração a partir da combinação de imagens Landsat coleção 2 e dados meteorológicos de reanálise ERA5-Land.

<https://etbrasil.users.earthengine.app/view/geesebal>

ATUALIZAÇÃO DO MODELO SSEBOP para utilização com imagens Landsat coleção 2 e dados meteorológicos de reanálise ERA5-Land.

<https://ssebop.users.earthengine.app/view/ssebopbrv2>

REPOSITÓRIO COM DISPONIBILIDADE DOS CÓDIGOS DO GESEBAL em linguagem de programação Python para estimativa de evapotranspiração a partir da combinação de imagens Landsat e dados meteorológicos de reanálise ERA5-Land.

<https://github.com/et-brasil/geeSEBAL>

BASE DE DADOS de evapotranspiração para a América do Sul com base em dados do sensor MODIS Aqua para o período 2000-2023.

Google Earth Engine snippet: *ee.ImageCollection ('projects/et-brasil/assets/geesebal/myd11a2/sa/v0-02')*

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A visão e o planejamento integrados das questões que exigem análises hidrológicas com a gestão dos recursos hídricos exigem uma grande disponibilidade e acurácia de informações de superfície, desde as escalas locais até as regionais. Esta demanda é impulsionada pela crescente disponibilidade de medições de campo, e pelos avanços no aperfeiçoamento e operação de sistemas de modelagem hidrológica, que se beneficiam de novos sensores remotos e melhor capacidade da manipulação de grandes quantidades de dados. Destacamos inicialmente a consolidação de um conjunto de medições do balanço de energia e especialmente da ET pelo método da covariância de vórtices turbulentos, com correção de viés do fechamento do balanço de energia, e de componentes do balanço hídrico em escala de bacia (umidade do solo, vazão, precipitação), utilizados para validação das estimativas de ET e do estresse hídrico. Destacamos finalmente a construção e disponibilização de um modelo de ET denominado geeSEBAL, utilizado com informações de satélite e dados

meteorológicos de reanálise ERA5-Land, para geração de series temporais desde 1984 e 2000, respectivamente, com grande acurácia e capacidade de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra. E destacamos o aprimoramento de outros modelos, como o modelo de ET denominado SSEBOP, e o modelo de ET, estresse hídrico e produtividade denominado SiB2. Todos estes modelos em geral utilizam as informações do Landsat e MODIS como condição de contorno, e as forçantes meteorológicas como dados de medição local ou de reanálise como o ERA5-Land, para estimar a ET desde a escala horária ou diária até outras maiores. Os modelos mostram marcante sensibilidade de representação de cobertura de superfície (solo/vegetação), que permite o monitoramento de uso da água em agricultura irrigada e agricultura de sequeiro, e áreas de vegetação natural. As estimativas de ET baseadas em multimodelos indicam superioridade à utilização de modelos individuais. Essas condições de disponibilidade de ferramentas e informações possibilitam, aos órgãos gestores da água, o aperfeiçoamento do monitoramento do uso dos recursos hídricos do Brasil, com benefícios para a gestão da regulação, fiscalização e planejamento.

PERSPECTIVAS

Destacamos que a implementação operacional de modelos de ET e balanço hídrico pode ser consolidada sob um alto nível de embasamento científico, provendo resultados de alta acurácia, a partir da existência de informações micrometeorológicas e hidrológicas de campo, como medições de ET e de componentes do balanço hídrico, que viabilizem a calibração e validação dos esquemas físico-numérico computacionais. As etapas de consolidação destas informações exigem um esforço humano-institucional e custo social muito alto, que cobrem desde as etapas de conceituação teórica, levantamento de recursos financeiros, formação e agregação de especialistas técnicos e pós-graduandos, escolha de sítio experimental e colaborações interinstitucionais com setores público e privado, instalação e manutenção do funcionamento da instrumentação, pós-processamento dos dados, análise científica, e publicação em periódicos de alta qualidade. Nas perspectivas espera-se dar continuidade às questões do projeto,

em parceria com a ANA, para mobilizar a melhor capacidade possível do estado brasileiro na utilização de modelagem com fins de suporte à gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2020) Estimativas de Evapotranspiração Real por Sensoriamento Remoto. Brasília: ANA, p. 110.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2021) **Atlas Irrigação 2021: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília: ANA.

ANDERSON, M. C.; ALLEN, R. G.; MORSE, A.; KUSTAS, W. P. (2012) Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. **Remote Sensing of Environment**.

ANDRADE, B. C. C.; *et al.* (2023) geeSEBAL-MODIS: Continental scale evapotranspiration based on the surface energy balance for South America. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**.

ARAÚJO, R. S.; ALVES, M. G.; MELO, M. T. C.; *et al.* (2015) **Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal**. Science of the Total Environment.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. (1998) The surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 1 – **Formulation**. **Journal of Hydrology**.

BIGGS, T.; *et al.* (2015) Remote Sensing of Actual Evapotranspiration from Cropland: Chapter 3. *In*: Thenkabail, P. S. (2015) **Remote sensing handbook**, Vol. III: Remote sensing of water resources, disasters, and urban studies. CRC Press.

LATHULLIÈRE, M. J.; *et al.* (2018) Rain-fed and irrigated cropland-atmosphere water fluxes and their implications for agricultural production in Southern Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**.

LETTENMAIER, D. P.; ALSDORF, D.; DOZIER, J.; *et al.* (2015) Inroads of remote sensing into hydrologic science during the WRR era. **Water Resources Research**.

MELTON, F. S. *et al.* (2022). OpenET: Filling a Critical Data Gap in Water Management for the Western United States. **Journal of the American Water Resources Association**.

SENAY, G. B.; *et al.* (2023) Improving the Operational Simplified Surface Energy Balance Evapotranspiration Model Using the Forcing and Normalizing Operation. **Remote Sensing**.

SENAY, G. B.; BOHMS, S.; SINGH, R. K.; et al. (2013) Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: a new parameterization for the SSEB approach. **Journal of the American Water Resources Association**.

UNITED NATIONS WATER (2010) **Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water**. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/climate-change-adaptation-pivotal-role-water>.

Consolidação dos resultados gerais do Pró-Recursos Hídricos

Teodorico Alves Sobrinho

O livro foi organizado em 14 capítulos abrangendo 12 projetos financiados, (Figura 1), no âmbito do Edital nº 16/2017 Pró-Recursos Hídricos – CAPES/ANA, Processo 23038.026880/2016-98.

O Edital foi construído com a participação conjunta da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os projetos, com temática em *Recursos Hídricos*, organizados em redes de pesquisa, envolveram a participação conjunta de 29 diferentes instituições de ensino e pesquisa do Brasil: Fundação João Pinheiro (FJP); Universidade Federal do Rio Grande (FURG); Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA); Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Universidade Federal da Bahia (UFBA); Universidade Federal de Goiás (UFG); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS); Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); Universidade Federal da Paraíba (UFPB); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal de Pelotas (UFPel); Universidade Federal do Paraná (UFPR); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Universidade Federal do Tocantins (UFT); Universidade de Brasília (UnB); Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat); Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc); Universidade Estadual Paulista (Unesp); Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade Federal de Itajubá (Unifei); Universidade do Vale do Paraíba (Univap); Universidade de São Paulo (USP), (Figura 2).

Cada capítulo do livro foi elaborado por seus respectivos coordenadores. O texto contemplou processos e resultados de análises pelas formas de produção no avanço do conhecimento, na área de gestão de recursos hídricos e nas diversas contribuições científicas, tecnológicas, social e na formação de recursos humanos.



Figura 1. Relação de projetos financiados no âmbito do Edital n° 16/2017 Pró-Recursos Hídricos. A sequência numérica de 1 a 12 se refere a cada projeto aprovado.

subsazonal e sazonal em apoio à gestão; plataforma de modelos econômico integrados como base científica para propor reformas nas políticas de alocação de águas; novas abordagens para o manejo da irrigação e modelagem da disponibilidade hídrica; estudos de integração de jogos de papéis e de sistemas multiagentes em processo de tomada de decisão participativa na gestão; plano estratégico para ocupação de bacias hidrográficas e de integração da gestão hídrica com planos de uso do solo e território; processos hidrogeomorfológicos e hidrossedimentológicos; caracterização de técnica inovadora *Floc and Lock* para imobilizar fósforo e mitigar florações de cianobactérias com possibilidades de uso farmacêutico da biomassa e tecnologias de monitoramento do balanço hídrico.

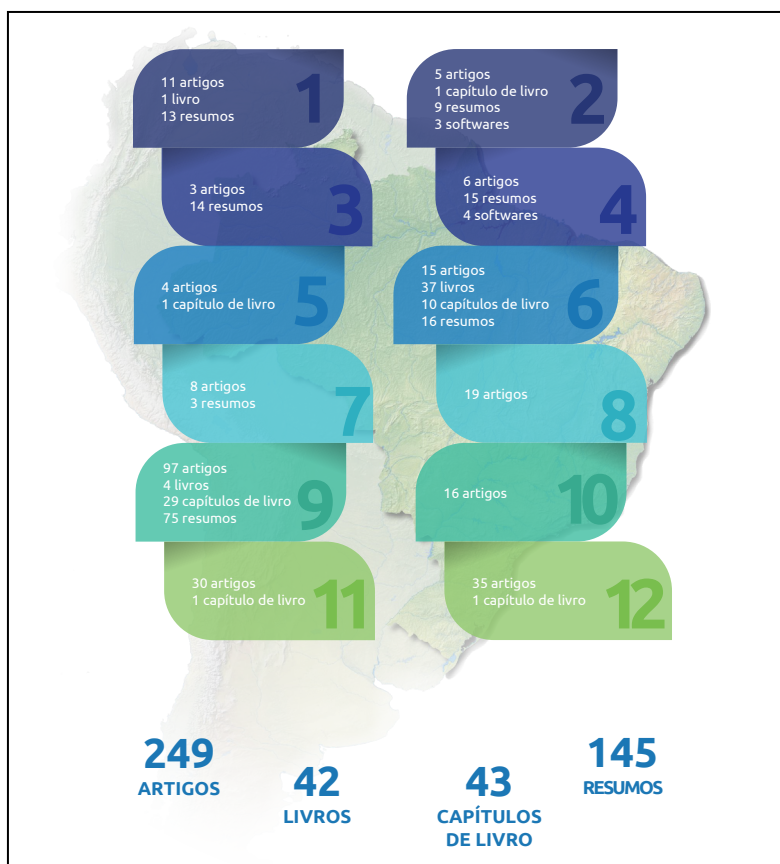


Figura 3. Contribuições científicas consolidadas por projeto e geral. A sequência numérica de 1 a 12 se refere aos projetos relacionados na Figura 1.

II. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

A formação de recursos humanos, nos diversos níveis do conhecimento, foi significativa, com 212 cientistas envolvidos, superando 200 acadêmicos titulados. Foram concluídas 64 dissertações de mestrado, 52 teses de doutorado, treinamento de 39 pós-doutorados, 52 monografias de iniciação científica e trabalhos de conclusão de curso (Figura 4).

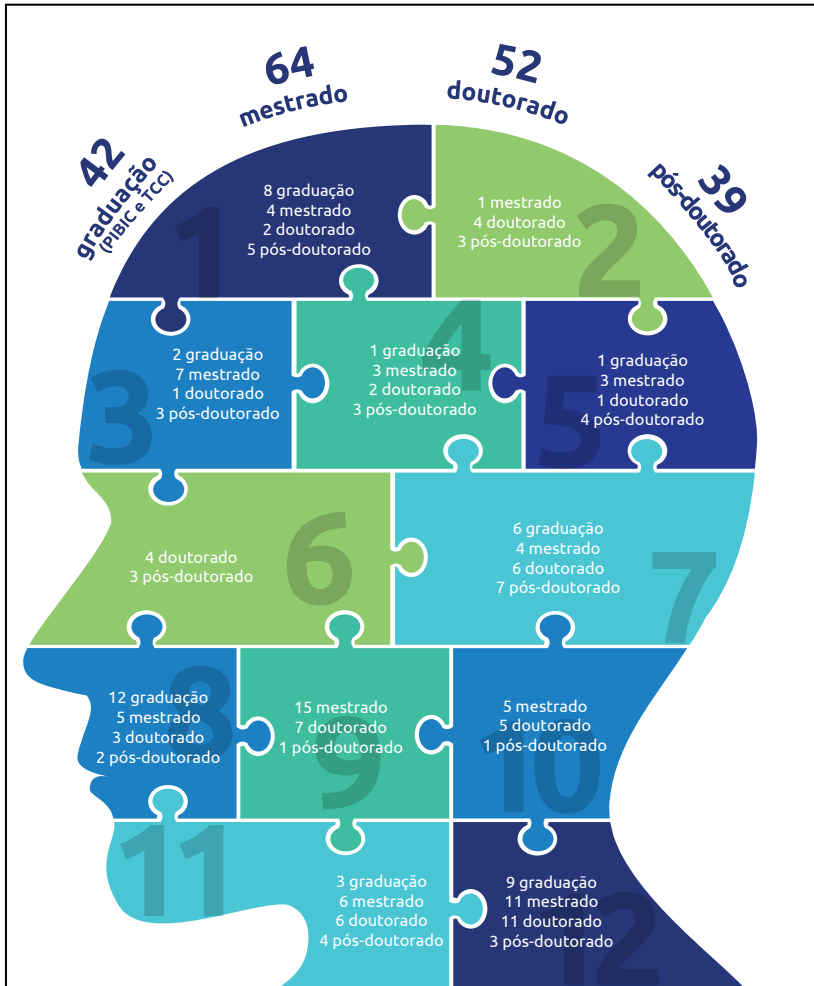


Figura 4. Formação de recursos humanos total e consolidada por projeto. A sequência numérica de 1 a 12 se refere aos projetos relacionados na Figura 1.

III. CONCLUSÕES GERAIS

A essência do processo e dos resultados de análises, pelas diferentes formas de produção no avanço do conhecimento na área de gestão de recursos hídricos no Brasil, está demonstrada nas conclusões gerais explicitadas em cada projeto, (Figura 5).

Todos os atores envolvidos no processo do Edital são unânimes em afirmar que, para garantir o alcance das pesquisas com os tomadores de decisão na Gestão de Recursos Hídricos, iniciativas conjuntas como essa são fundamentais e devem ter continuidade por meio de novas chamadas.

O conhecimento da ANA sobre as necessidades do setor constitui uma forma de orientar os temas em linhas de pesquisa de interesse para gestão e regulação de recursos hídricos, garantindo que sejam apoiados projetos realmente relevantes e inovadores. A parceria com a CAPES, com todo seu consolidado histórico na concessão de bolsas para a pós-graduação, visando a formação de recursos humanos, foi, sem dúvida, o grande avanço no contexto do Edital, formalizado e concretizado com sucesso.

As áreas técnicas da ANA e da CAPES e o Comitê Gestor do Edital 16/2017 esperam que seja possível dar continuidade ao apoio financeiro ao Programa, incluindo outras linhas temáticas de interesse para a gestão e regulação de recursos hídricos no Brasil.

O Seminário Final, com a publicação dos resultados do Pró-Recursos Hídricos em outubro de 2023, marcou o término de um projeto arrojado. Projeto que envolveu diversas Instituições de Ensino e Centros de Pesquisa e contribuiu significativamente na formação de recursos humanos especializados nas áreas de gestão e regulação de recursos hídricos e para o desenvolvimento de pesquisas científicas diretamente ligas aos atuais desafios e necessidades do setor.



Figura 5. Conclusões. A sequência numérica de 1 a 12 se refere aos projetos relacionados na Figura 1.

ADILSON PACHECO DE SOUZA

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
E-mail: adilsonpacheco@ufmt.br

ALAN VAZ LOPES

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
E-mail: vazlopes@ana.gov.br

ALEXANDRE DE PÁDUA CARRIERI

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
E-mail: ale.krrieri@gmail.com

ALICE PLAKOUDI SOUTO MAIOR

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)
E-mail: alice.maior@capes.gov.br

ALISON MATHEUS OLIVEIRA SILVA

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
E-mail: alisonmatheus470@gmail.com

ANA PAULA PEREIRA DOS SANTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)
E-mail: anapaula.santos@capes.gov.br

ANDERSON LUIS RUHOFF

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
E-mail: andersonruhoff@gmail.com

ARTHUR TELLES CALEGARIO

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
E-mail: tcalegario@gmail.com

BALBINO ANTÔNIO EVANGELISTA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)
E-mail: balbino.evangelista@embrapa.br

BENEDITO CLAUDIO DA SILVA

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
E-mail: silvabenedito@unifei.edu.br

CAMILA COELHO WELERSON

Universidade Federal de Minas Gerais
(UFMG)
E-mail: camila.welson@gmail.com

CAROLINA COSTA BORGES

Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior (CAPES)
E-mail: carolina.borges@capes.gov.br

CELINA MARIA LOPES VIEIRA

Agência Nacional de Águas e Saneamento
Básico (ANA)
E-mail: celina@ana.gov.br

CLAUDIA WEBER CORSEUIL

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)
E-mail: claudia.weber@ufsc.br

CLAUDINE PEREIRA DEREZYNSKI

Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)
E-mail: claudine.derezybski@igeo.ufrj.br

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE
ALVES**

Universidade de Brasília (UnB)
E-mail: cmaalves@gmail.com

DANIEL ANDRÉS RODRIGUEZ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)
E-mail: daniel.andres@coc.ufrj.br

DANIEL FONSECA DE CARVALHO

Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro (UFRRJ)
E-mail: carvalho@ufrj.br

DÉBORA REGINA ROBERTI

Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM)
E-mail: debora@ufsm.br

DIANA FRANCISCA ADAMATTI

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
E-mail: dianaada@gmail.com

DILERMANDO PEREIRA LIMA-JUNIOR

Universidade Federal de Mato Grosso,
Campus Universitário do Araguaia (UFMT)
E-mail: dilermundo.junior@ufmt.br

ELISEU OLIVEIRA AFONSO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: eliseuoafonso@gmail.com

ERNANI PINTO JUNIOR

Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: ernani@usp.br

EVANDRO ALBIACH BRANCO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: evandro.albiach@inpe.br

FERNÁN ENRIQUE VERGARA FIGUEROA

Universidade Federal do Tocantins (UFT)
E-mail: vergara@uft.edu.br

FERNANDA MATOS

Universidade Federal de Minas Gerais
(UFMG)
E-mail: fcmatosbh@gmail.com

FREDERICO TERRA DE ALMEIDA

Universidade Federal de Mato Grosso
(UFMT)
E-mail: fredterr@gmail.com

GABRIEL DE OLIVEIRA MACHADO

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
E-mail: gabriel.d.machado@ufv.br

GUSTAVO BALUÉ ARCOVERDE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: gustavo.arcoverde@inpe.br

HUGO HINOSTROZA FARFÁN

Instituto La Pontificia, Perú (ILP)
E-mail: hf.lhugo1@gmail.com

HUMBERTO RIBEIRO DA ROCHA

Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: humberto.rocha@iag.usp.br

IGNÁCIO TAVARES DE ARAÚJO JUNIOR

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
E-mail: ignaciotavares@gmail.com

IRANI DOS SANTOS

Universidade Federal do Paraná (UFPR)
E-mail: irani@ufpr.br

JORGE LUÍS GOMES

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
E-mail: jorge.gomes@inpe.br

JÚLIO CÉSAR PIFFERO DE SIQUEIRA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)
E-mail: julio.siqueira@capes.gov.br; CAPES

LAURA DE SIMONE BORMA

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
E-mail: laura.borma@inpe.br

LINCOLN MUNIZ ALVES

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
E-mail: lincoln.alves@inpe.br

LINEU JOSÉ PEDROSO

Universidade de Brasília (UnB)
E-mail: lineujp@gmail.com

LINEU NEIVA RODRIGUES

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
E-mail: lineu.rodrigues@embrapa.br

LISANDRO LOVISOLO

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
E-mail: lisandro@uerj.br

LUDIER KESSER SANTOS SILVA

Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia (UFMT)
E-mail: ludier.silva@ufmt.br

LUÍZ EDUARDO DE OLIVEIRA CRUZ E ARAGÃO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
E-mail: laragao@dsr.inpe.br

LUÍS HENRIQUE BASSOI

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)
E-mail: luis.basso@embrapa.br

MAÍRA SIMÕES CUCIO

Universidade Estadual de Campinas (PPGEC/UNICAMP - AGEVAP)
E-mail: maira.simoes@hotmail.com

MANOEL FERREIRA CARDOSO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
E-mail: manoel.cardoso@inpe.br

MARCELO HENRIQUE FARIAS DE MEDEIROS

Universidade Federal do Paraná (UFPR)
E-mail: medeiros.ufpr@gmail.com

MARCELO MACHADO DE LUCA DE OLIVEIRA RIBEIRO

Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: mrib@usp.br

MARCELO MANZI MARINHO

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
E-mail: manzi.uerj@gmail.com

MARCELO PEREIRA DA CUNHA

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
E-mail: mpcunha@unicamp.br

MÁRCIA MARIA GUEDES ALCOFORADO DE MORAES

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
E-mail: marcia.alcoforado@ufpe.br

MARIA ANGÉLICA TONIOLO

Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
E-mail: angelica.toniolo@univap.br

**MARIA HENRIQUETA ANDRADE
RAYMUNDO**

Universidade Federal do ABC (UFABC)
E-mail: henriquetasss@gmail.com

MARIANA GUTIERREZ ARTEIRO PAZ

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: mariana.paz@inpe.br

MARILTON SANCHOTENE DE AGUIAR

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)
E-mail: marilton@inf.ufpel.edu.br

MARTA INÊS CALDART DE MELLO

Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior (CAPES)
E-mail: martam@capes.gov.br

MARYANGELA GEIMBA DE LIMA

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
E-mail: magdlima@gmail.com

MASATO KOBIYAMA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS)
E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br

MICHEL POMPEU TCHEOU

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ)
E-mail: mtcheou@uerj.br

NICOLE COSTA RESENDE FERREIRA

EDF Energy, Inglaterra
E-mail: nicole.resende@yahoo.com.br

NICOLE CRISTINE LAUREANTI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: nlaureanti@gmail.com

NILZO IVO LADWIG

Universidade do Extremo Sul Catarinense
(UNESC)
E-mail: ladwignilzo11@gmail.com

PATRÍCIA CAMPOS BORJA

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
E-mail: borja@ufba.br

PAULO DE MARCO JUNIOR

Universidade Federal de Goiás (UFG)
E-mail: pdemarcojr@gmail.com

PEDRO ROBERTO JACOBI

Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: prjacobi@usp.br

PRISCILA DA SILVA TAVARES

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: priscila.tavares@inpe.br

QUIRJUN DE JONG VAN LIER

Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: qdjvlier@usp.br

RAQUEL DE MIRANDA BARBOSA

Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande do Sul/Rio
Grande (IFRS)
E-mail: raquel.barbosa@riogrande.ifrs.
edu.br

RENATO ZANELLA

Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM)
E-mail: renato.zanella@ufsm.br

ROBERTO LEO DOS SANTOS BALTAZAR

Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)
E-mail: balbob97@gmail.com

SAULO AIRES DE SOUZA

Agência Nacional de Águas e Saneamento
Básico (ANA)
E-mail: saulo.souza@ana.gov.br

SIN CHAN CHOU

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
E-mail: chou.chan@inpe.br

TEODORICO ALVES SOBRINHO

Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul (UFMS)
E-mail: teodorico.alves@ufms.br

VERA LUCIA DE MORAES HUSZAR

Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)
E-mail: vhuszar@gbl.com.br

A Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) formaram, em 2016, parceria para estimular a pesquisa e a capacitação de recursos humanos na gestão de recursos hídricos. As tratativas culminaram na formulação do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos, concretizado com a Chamada Pública CAPES - ANA – Edital nº 16/2017. O Programa financiou 12 projetos de pesquisa, executados entre 2018 e 2023, e teve a participação de 29 instituições de ensino e centros de pesquisa do Brasil.

Este livro contém os resultados atuais e as perspectivas futuras em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos alcançados pelo Programa Pró-Recursos Hídricos. O texto contempla processos no avanço do conhecimento na área, apresenta as diversas contribuições científicas, tecnológicas e social e a formação de recursos humanos especializados. A essência do processo está demonstrada nas conclusões gerais explicitadas em cada projeto.

ISBN 85-45584-48-3

