RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

Sistema integrado de inteligência territorial para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Oeste da Bahia

Autores:
Everardo Chartuni Mantovani
Marcos Heil Costa
Eduardo Antônio Gomes Marques
Gerson Cardoso da Silva Júnior
Aziz Galvão da Silva Júnior

VIÇOSA
Outubro de 2021

Sistema integrado de inteligência territorial para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Oeste da Bahia

Recursos:

Programa para Desenvolvimento da Agropecuária (Prodeagro)

Proposição:

Associação de agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA)

Execução:

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Apoio:

Daugherty Water for Food Global Institute (DWFI)

Instituto Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (IAIBA)

Associação Baiana dos Produtores de Algodão (ABAPA)

Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA)

Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI)

Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS)

Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (INEMA)

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)

Agência Nacional de Águas (ANA)

Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Fotos da capa: Mila Cordeiro (AIBA) / Everardo Chartuni Montavani

Ficha Catalográfica

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

REALIZAÇÃO:

FUNDO FINANCIADOR:

PARCEIROS:

APOIO:

INSTITUCIONAL

Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia – AIBA

Presidente: Odacil Ranzi
1º Vice-Presidente: Moisés Almeida Schmidt
2º Vice-Presidente: Willian Seiji Mizote
Diretor Administrativo: Olmiro Flores de Oliveira
Vice-Diretor Administrativo: SLC Agrícola S/A
Diretor Financeiro: Hélio Hopp
Vice-Diretor Financeiro: Ricardo Lhossuke Horita
Diretoria Executiva: Alan Malinski
Diretoria de Meio Ambiente: Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis
Equipe Técnica: Aloísio Bezerra, Eneas D. Porto, Glauciana Araújo, Raquel Paiva, Sérgio Pignata
Coordenação de Projetos: Ana Filipia
Assessoria Jurídica: Olegário Macedo
Assessoria de Agronegócio: Luiz Stahlke
Assessoria de Comunicação: José Filho

Instituto Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia – IAIBA

Presidente: Odacil Ranzi

Associação Baiana dos Produtores de Algodão - ABAPA

Presidente: Luiz Carlos Bergamachi

Programa para Desenvolvimento da Agropecuária – Prodeagro

Presidente: Odacil Ranzi
Gerente Administrativa: Karina Pinho da Costa

Universidade Federal de Viçosa - UFV

Reitor: Demétrius David da Silva
Fundação Arthur Bernardes: Presidente: Rodrigo Gava

Coordenação Geral dos Estudos

Coordenador: Everardo Chartuni Mantovani, D.S.

Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica

Coordenador: Marcos Heil Costa, Ph.D.
Equipe: Gabrielle Ferreira Pires, DS, Emily Ane Dionizio da Silva, DS, Ana Beatriz dos Santos, MS, Raphael Pousa dos Santos, MS, Eng° Fernando Martins Pimenta, Bel. Pauline Rodrigues de Souza e Matheus Lucas da Silva (tecnólogo).
Estagiários: Allan T. Speroto, Flávia B. Vitorino, Marina Castro, Verônica Versieux

Aperfeiçoamento do modelo numérico de fluxo do sistema aquífero Urucuia e avaliação de cenários de explotação futuros

Coordenação: Eduardo Antonio Gomes Marques, DS e Gerson C. da Silva Junior, DS
Equipe: Glauco Zely da Silva Eger, MS
Estagiários: Diana Gomes Tabach Bustamante da Rocha e Bernardo R. Leão

Governança

Coordenadores: Aziz Galvão da Silva Junior, DS e Everardo Chartuni Mantovani, DS
Equipe: Igor Boninsenha, MS
Estagiários: Kelton Gomes dos Santos, Maria Clara Moreira Fort, Taiane Michele Costa Paiva.

SUMÁRIO GERAL

1. RESUMO EXECUTIVO 7

2. INTRODUÇÃO GERAL 11
2.1 Introdução 11
2.2 Resumo do Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica 12
2.3 Resumo de Águas Subterrâneas 15
2.4 Resumo de Governança 16
2.5 Inovação, Difusão e Impactos Sociais e Ambientais 18

3. SISTEMA DE INTELIGÊNCIA TERRITORIAL E HÍDRICA 21

4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 85

5. GOVERNANÇA 157

1. RESUMO EXECUTIVO

O projeto "Sistema integrado de inteligência territorial para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Oeste da Bahia" foi desenvolvido no período de 2019 a 2021 sob responsabilidade técnica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e do Instituto de Geociências da UFRJ permitindo um grande avanço no conhecimento dos temas. Este avanço tem sido medido pelo grande número de publicações científicas sobre a região e pela ampla divulgação e debate de maneira técnica e científica. Este relatório apresenta o estágio atual de conhecimento da região e propõe recomendações.

A região do Oeste da Bahia transformou-se em uma das regiões do agronegócio brasileiro com mais informações integradas dos recursos hídricos em todo Brasil. Contribuíram para isso de forma significativa as informações já existentes e mais as que foram adquiridas no amplo estudo realizado.

Para atingir os objetivos propostos e possibilitar melhores condições de desenvolvimento do trabalho, este foi dividido em três subprojetos, envolvendo o desenvolvimento de um Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica, Modelagem do Sistema Aquífero Urucuia e avaliação de Cenários de Explotação Futuros e Governança dos Recursos Hídricos.

No primeiro subprojeto, foram feitas medições através de campanhas de campo e visitas técnicas e estas foram integradas com dados existentes, imagens de satélites, de maneira a compreender em detalhes a ocupação do solo na região, o clima e identificar a evolução da área de agricultura em geral, em especial a área irrigada. Ampliou-se o desenvolvimento do sistema OBahia como um sistema web de inteligência territorial e hídrica para monitoramento, análise e projeções da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea associada às demandas atuais e futuras. Este sistema foi utilizado para desenvolvimento de estudo de cenários do potencial da expansão sustentável da agricultura irrigada na região.

No segundo subprojeto, houve um aprimoramento do conhecimento da disponibilidade hídrica subterrânea, desenvolveu-se um processo de modelagem com vistas a conhecer a dimensão e a disponibilidade hídrica do aquífero Urucuia, a interação com as águas superficiais (rios) e simular a evolução da profundidade do lençol freático em distintas estratégias de captações subterrâneas. Também foi calculada, com embasamento técnico, a recarga anual de água para o aquífero em função das chuvas, do histórico de ocupação do solo e um estudo detalhado de infiltração de água no solo (avaliado na etapa anterior), informação necessária para definir a vazão disponível para captação de água no aquífero.

No terceiro subprojeto, desenvolveu-se um intenso processo de discussão sobre a gestão de recursos hídricos na região Oeste da Bahia, com uma análise do sistema atual de governança com proposição de ações de melhoria e de um sistema de monitoramento.

A questão básica relacionada a obtenção e disponibilização das informações sobre o uso sustentável de recursos e a evolução da realidade regional ao longo do tempo foi trabalhada através do desenvolvimento do sistema OBahia, que pode ser acessado em http://obahia.dea.ufv.br. A plataforma começou a ser desenvolvida em 2017, inicialmente apenas para visualização de mapas e em seguida, foi substancialmente melhorada no âmbito deste projeto para incluir ferramentas de previsão hidroclimática e de análise automatizadas. O desenvolvimento de ferramentas de Inteligência Territorial é importante para definir estratégias futuras em base técnica, sendo apresentados dois estudos de caso, com análise de cenários para

o desenvolvimento regional, relacionados à evolução do uso do solo e aptidão agrícola para a expansão da agricultura de sequeiro e, muito importante, uma análise do potencial de expansão da agricultura irrigada no Oeste da Bahia.

Em relação às águas subterrâneas do Sistema Aquífero Urucuia (SAU), os trabalhos da permitiram a continuidade e aprofundamento, com levantamento e ajustes nas características básicas do aquífero utilizando o Visual Modflow Flex. O estudo contemplou o levantamento de novas informações bibliográficas e hidráulicas por meio de testes de bombeamento, cálculo da recarga ao aquífero e interação com as águas superficiais, utilizadas para atualização do modelo conceitual e do modelo numérico. Foram realizados novos testes de bombeamento em áreas carentes de informações, bem como o uso de técnicas mais avançadas para estimativas de recarga.

Considerando a importância social e econômica das pequenas unidades de produção (individuais e em perímetros), destaca-se também as iniciativas de análise, incentivo e apoio técnico, com montagem de unidades de demonstração, treinamento e difusão tecnológica de produção irrigada.

Todo esse processo de ampliação de conhecimento foi acompanhado de uma extensa agenda de discussões e debates técnicos e científico sobre o projeto e seus resultados com os principais interessados e envolvidos no tema. Foram realizadas interlocuções permanentes da AIBA e da UFV com o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA), a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA), com os Comitês de Bacia do Rio Grande e do Rio Corrente, Universidades Estaduais e Federais da região e de Salvador, além de uma interlocução e parceria internacional com o Daugherty Water for Food Global Institute (DWFI) da University of Nebraska – Lincoln (UNL) que detém grande *expertise* em irrigação e gestão hídrica compartilhada.

Um amplo programa de capacitação com base em metodologias presenciais e de ensino a distância foi disponibilizado, com vistas a viabilizar o acesso amplo aos produtos gerados. De forma bem objetiva os principais produtos são:

i. Plataforma OBahia, composta por sete diferentes componentes, com diferentes níveis de aprofundamento para atender aos mais diversos usuários, em um ambiente completo em *workstation* para viabilizar o pleno funcionamento do sistema, com sistema de suporte ao uso e decisão. (i) Visualizador de mapas, (ii) Visualizador de séries temporais de mapas, (iii) Sistema de previsão do início da estação chuvosa, (iv) Sistema de previsão de vazões mínimas anuais, (v) Módulo de visualização de resultados do modelo de águas subterrâneas, (vi) Módulo de visualização informações de governança e (vii) Modelo de otimização do lucro da propriedade rural;

ii. Cenários de desenvolvimento regional envolvendo o potencial de expansão da agricultura irrigada no Oeste da Bahia em dois cenários denominados de Presente, com a vazão outorgável calculada com base nas vazões medidas no período 1978-2020 e, cenário Futuro, considerando efeitos de mudança climática, em que a vazão a ser outorgada é reduzida em 20%, coerente com as reduções de chuvas e vazões a partir dos anos 1990;

iii. Conjunto de modelos numéricos do Sistema Aquífero Urucuia, que permite a gestão da disponibilidade hídrica subterrânea, com capacidade de avaliação de cenários futuros de explotação de água e tambem coadjuvar a gestão do sistema de outorga;

iv. Aprovação de um projeto piloto de monitoramento integrado dos recursos hídricos superficiais, subterrâneos e utilizados pelos diversos usuários além de informações climáticas.

As conclusões obtidas são as seguintes:

i. O OBahia é um importante sistema de gestão territorial e o seu uso possibilita a tomada de decisão em base a informações contrastadas e a otimização do uso dos recursos hídricos em base técnica e científica;

ii. As áreas com agricultura irrigada são mitigadoras do efeito estufa, com taxa de acúmulo de carbono no solo (C) significativamente superior à agricultura de sequeiro;

iii. As séries temporais de mapas de área irrigada são fundamentais para a gestão hídrica, pois permitem a visualização do funcionamento dos pivôs, da evapotranspiração real (mm/mês), da lâmina de irrigação aplicada em cada pivô (mm/mês) e da vazão média de irrigação (m^3/s);

iv. No período 2001-2020, a maior utilização de água na agricultura irrigada na região combinada das bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha foi de 79,6 m^3/s em junho do ano 2020, representando 10,5%, 20,5% e 61,1% da vazão média de longa duração, vazão Q_{90} e da vazão outorgada, respectivamente;

v. As ferramentas de previsão do início da estação chuvosa e das previsões de vazões mínimas anuais são instrumentos importantes para gestão do uso dos recursos hídricos na região;

vi. O potencial de crescimento da agricultura irrigada é de 829.616 ha (total de 1.046.375 ha e descontando-se a área já irrigada 216.759 ha) para o cenário presente (2020) com vazão de outorga máxima calculada com base nas vazões medidas no período 1978-2020;

vii. O cenário futuro de mudança climática, em que a vazão a ser outorgada é reduzida em 20%, indica uma redução da vazão máxima outorgável de 388,42 m^3/s para 310,74 m^3/s, o que implica um potencial de expansão de 620.341 ha (total de 837.100 ha e descontando-se a área já irrigada atual de 216.759 ha);

viii. Os potenciais de expansão são restritos a algumas áreas, conforme mapas apresentados. Esses números devem ser usados apenas para fins de planejamento regional, e a real expansão vai depender dos procedimentos usuais, como concessão de outorgas, licenças ambientais etc.

ix. O potencial de expansão inclui as outorgas já concedidas, mas ainda não implementadas na forma de sistemas de irrigação instalados até 2020.

x. A maior parte das áreas altamente aptas para expansão da agricultura de sequeiro no Oeste da Bahia já foram utilizadas, restando principalmente áreas marginalmente aptas.

xi. Todo esse potencial de irrigação pode ser executado nas áreas atualmente já abertas para agricultura ou pecuária.

xii. A taxa de recarga ao aquífero na área do SAU como um todo é de cerca de 20-22% da precipitação, quando estimada por diferentes metodologias, varia entre 19 e 29% para as sub-bacias estudadas nas bacias do rio Grande e do rio Corrente;

xiii. A reserva explotável do Aquífero Urucuia na região é da ordem de 118 m^3/s. No SAU 11% em média já vem sendo utilizada através de poços. Na bacia do rio Grande, essa utilização chega a 18%;

xiv. A vazão explotável de 118 m^3/s mencionada em xiii está incluída na vazão máxima outorgável de 388 m^3/s, mencionada em vii. A vazão bombeada do Aquífero Urucuia não deve superar 118 m^3/s, enquanto o restante pode sair da vazão fluvial, considerando um controle por monitoramento.

As principais recomendações são:

i. Utilizar o modelo Visual Modflow do Sistema Aquífero Urucuia para auxiliar na gestão do Aquífero, com a realização de simulações para as solicitações de outorga e verificações das alterações causadas por estes ao modelo de fluxo local;

ii. Implantar uma sala de situação com especialistas para gestão dos sistemas OBahia e Modflow já desenvolvido, do sistema de monitoramento em desenvolvimento e outros relacionados, de forma a permitir o uso dos sistemas para efetivo uso em prol de uma gestão cada vez mais técnica e sustentável dos recursos hídricos;

iii. Ampliar o banco de dados do Estado da Bahia através da incorporação de dados de uso, ocupação do solo, disponibilidade dos recursos hídricos e base hidrográfica a partir das informações disponíveis na plataforma OBahia;

iv. Considerar rever a normativa que dispõe sobre critérios técnicos para perfuração de poços tubulares para fins de exploração de água subterrânea no aquífero Urucuia, Estado da Bahia, de modo a levar em conta medições locais (teste de bombeamento e de interferência), além do uso do modelo hidrogeológico descrito na recomendação i;

v. Considerar ajustar a normativa de emissão e renovação de outorgas que limita o tempo de bombeamento em 18 horas. Para um mesmo volume bombeado diariamente e controlado via monitoramento exigido, esse período não importa para a disponibilidade hídrica e essa limitação de horas encarece o processo de irrigação;

vi. Considerar a mudança do processo de outorga para o uso de outorgas sazonais. O processo de outorga atual não considera as diferentes disponibilidades ao longo dos meses do ano, sendo fixadas em função apenas do que o período de vazão mínima permite;

vii. Considerar desvincular a vazão outorgada da área utilizada para irrigação e produção, estimulando a eficiência no uso da água;

viii. Recomendamos revisar as diversas bases de dados usadas na concessão de outorga superficial e subsuperficial, incluindo problemas na localização dos corpos hídricos perenes, efêmeros, temporários e intermitentes, nas coordenadas e duplicidade de outorgas, dentre outros, visando um maior controle de qualidade dos dados.

2. INTRODUÇÃO GERAL DO RELATÓRIO

2.1 Introdução

O estudo amplo e integrado dos recursos hídricos da região Oeste da Bahia foi desenvolvido no período de 2019 a 2021 sob o título *"Sistema integrado de inteligência territorial para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Oeste da Bahia"*.

O projeto tem a responsabilidade técnica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e do Instituto de Geociências da UFRJ e a equipe responsável pelo trabalho foi composta por mais de 20 técnicos e coordenado pelos professores Marcos Heil Costa (UFV), Gerson Cardoso da Silva Junior (UFRJ), Eduardo Antônio Gomes Marques (UFV) e Aziz Galvão da Silva Júnior (UFV), com a coordenação geral do professor Everardo Chartuni Mantovani (UFV).

A região Oeste da Bahia é uma das mais ativas fronteiras agrícolas do mundo, e segue um padrão de extensificação e intensificação, com área atual de cerca de 2,3 milhões de ha com exploração agrícola, com crescente importância da agricultura irrigada, com taxa de incremento de cerca de 11.000 ha/ano, totalizando em 2020, 217.633 ha concentrados em 1869 pivôs centrais e 6865 ha em perímetros irrigados (detalhamento na seção 3). Esta área apresenta grande potencial de crescimento em função das condições adequadas de topografia e disponibilidade hídrica superficial e subterrânea e a definição deste potencial em base sustentável é um dos objetivos do estudo.

Entretanto, a rápida expansão da área irrigada levou a preocupações com relação à disponibilidade dos recursos hídricos regionais e, neste contexto, desenvolveu-se a parceria para desenvolvimento do projeto, criando condições para um debate em base técnica que possa trazer o desenvolvimento em base sustentável econômica, social e ambiental.

O desenvolvimento da região Oeste da Bahia está intimamente ligado ao agronegócio, principalmente associado a produção de soja, milho e algodão, mas também com importância em outras culturas como feijão, sorgo, café e fruticultura. Ocupa uma área de agricultura com 2,3 milhões de ha e se insere também por um lado nos desafios relacionadas a uma demanda global produção de alimentos, fibras e biocombustível deverá pelo menos dobrar até 2050 e por outro, a ocorrência das mudanças climáticas, que apresentam exigências de produção com sustentabilidade ambiental, econômica e social, garantindo a sobrevivência de longo prazo de empreendimento individuais e do setor como um todo.

Além dos importantes aspectos relacionados a sustentabilidade econômica e social do sistema de produção, com geração de empregos, melhorias da qualidade de vida e desenvolvimento humano, a situação atual exige também aumento da produtividade e dos rendimentos das culturas. Por outro lado, temos a exigência de reduzir ao máximo suas emissões de CO_2, para evitar mudanças climáticas severas e ao mesmo tempo estar preparada para os efeitos das mudanças climáticas que já estão ocorrendo e podem se intensificar nas próximas décadas.

Apesar dos muitas informações e estudos sobre o tema, o debate sobre os recursos hídricos e sua gestão para garantir os usos múltiplos ainda são conduzido com grandes lacunas de informações, que compromete a aplicação de soluções técnicas que possa garantir o desenvolvimento sustentável da região, sendo que a análise da disponibilidade hídrica e a sua utilização para a produção de alimentos, fibras e agroenergia exige um diálogo amplo e com

participação efetiva de todos os setores, uma vez que este assunto é de grande interesse da coletividade.

A agricultura irrigada ocupa lugar de destaque no conceito chave relacionado a intensificação que permite o aumento sustentável da produtividade, associada ao uso intensivo de tecnologia e de insumos agrícolas e, no caso da agricultura irrigada, de recursos hídricos. Também é um importante instrumento de redução de riscos associados a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade, possibilitando produzir com diversificação e segurança.

O uso eficiente e sustentável da água no Oeste da Bahia é um fator chave para o desenvolvimento da região e reflete uma preocupação global. A gestão eficiente da água, ou seja, o conjunto de operações realizadas em um determinado período de tempo, envolve recursos físicos, humanos, financeiros e depende de informações sobre a disponibilidade e a demanda hídricas. Existe o consenso internacional que a crise hídrica é na verdade uma crise de governança. A alocação da água é, portanto, uma questão econômica e política, regulamentada por um conjunto de leis formais e regras informais propostas, implementadas e controladas por diferentes grupos de interesse.

Para atingir os objetivos propostos e possibilitar melhores condições de desenvolvimento do trabalho, o projeto foi dividido em três subprojetos, que serão resumidos a seguir e detalhado nos itens 3, 4 e 5 deste relatório.

SUBPROJETO 1: Uso do Solo no Oeste da Bahia: Do monitoramento de áreas irrigadas à Inteligência Territorial Estratégica.

SUBPROJETO 2: Águas subterrâneas: Aperfeiçoamento do modelo numérico de fluxo do sistema aquífero Urucuia e avaliação de cenários de explotação futuros.

SUBPROJETO 3: Governança e monitoramento de recursos hídricos para a expansão da irrigação no Oeste da Bahia.

2.2 Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica – resumo

O Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia está inserido na plataforma OBahia, que disponibiliza informações e ferramentas de visualização de mapas, recorte e elaboração de gráficos de informações diversas relacionadas à evolução da realidade regional, monitoramento, análise e projeções da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea associada às demandas atuais e futuras

A plataforma pode ser acessada em http://obahia.dea.ufv.br sendo desenvolvida inicialmente apenas para visualização de mapas (2017 a 2019), com substanciais implementações na etapa atual com aporte de recursos adicionais do CNPq, incluindo ferramentas de previsão hidroclimática e de análise automatizadas.

A plataforma OBahia é composta por sete diferentes componentes que são detalhados na seção 3 deste relatório, com diferentes níveis de aprofundamento para atender aos mais diversos usuários nos idiomas português e inglês. Foi desenvolvido um ambiente completo em *workstation* para viabilizar o pleno funcionamento do sistema, sendo apresentada uma lista dos principais processos de instalação, configuração e desenvolvimento, que pode ser acessado em qualquer navegador de internet e sistema operacional, funcionando em celulares, tablets e monitores de qualquer resolução.

São apresentadas séries históricas anuais dos mapas de infraestrutura de irrigação instalada para o período de 1990 a 2020, séries históricas mensais de mapas de área

efetivamente irrigada para o período de 2001 a 2020 e, séries históricas mensais de mapas de demanda evapotranspirométrica em cada pivô central, também para o período de 2001 a 2020, durante o período de crescimento das culturas.

As novas funcionalidades permitem a visualização online das séries temporais dos mapas, pré-carregado com diferentes séries, séries históricas anuais dos mapas de uso e cobertura do solo, séries históricas anuais dos estoques de carbono

Neste particular é importante destacar que os estudos de carbono no solo ABC+ além das consequências naturais de subsidiar o entendimento da sustentabilidade do sistema de produção agrícola, permitiu um importante desenvolvimento.

Os trabalhos desenvolvidos e publicados realizadas no âmbito do Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica permitiram um grande avanço na análise do potencial da mitigação da agricultura irrigada de apoio a redução das mudanças climáticas relacionada à retenção de carbono no solo, permitindo que a agricultura irrigada fosse incluída no programa ABC+ (Agricultura de Baixo Carbono) do MAPA.

Como base nos resultados dos estudos foi possível estimar uma retenção extra de carbono no solo em valores significativos na implantação de novas áreas irrigadas no país. Em uma proposta viável de crescimento da área irrigada brasileira a uma taxa de 300 mil ha por ano e um total de 3 milhões de ha em 10 anos, sob área de agricultura de sequeiro, estimou-se o ganho relativo da implantação, atingindo o valor final para faixa de 0 a 30 cm de 50,8 milhões de Mg CO_2/ha (ou 50,8 Tg CO_2/ha).

Importantes resultados obtidos e disponibilizados no sistema Obahia, referente as séries históricas mensais dos mapas de área efetivamente irrigada, evapotranspiração real, vazão de irrigação e lâmina irrigada para o período de 2001 a 2020.

Esta nova ferramenta permite a visualização da classificação de pivôs irrigados e não irrigados, da evapotranspiração real (mm/mês) e da lâmina de irrigação aplicada em cada pivô (mm/mês) e que podem ser acessadas pela ferramenta de Séries Temporais de Mapas de Área Irrigada.

Inclui no estudo as séries históricas mensais de mapas de precipitação para o período de 2000 a 2020 e as series históricas mensais dos mapas de variação relativa da água subterrânea para o período de 2003 a 2017. Importante também as previsões on line do início da estação chuvosa o novo módulo de visualização online da previsão climática do início da estação chuvosa para a região oeste da Bahia, que tem grande importância para previsão de plantio da agricultura de sequeiro e que pode ser importante para evitar problema de baixas vazões no início da campanha irrigada

Destaca-se nos novos desenvolvimentos o novo módulo de visualização online de previsão hidroclimática que permite a visualização de previsão de vazões mínimas anuais (realizadas para o período de abril a outubro, período seco na região) e o status de estresse hídrico das bacias para o ano em questão. Foram feitas para as estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) entre os anos de 1978-2020, que tem sistema de transmissão automática de dados por telemetria.

Esse desenvolvimento permite um planejamento da safra irrigada, evitando-se os problemas de limitada vazão disponível. O critério envolve a comparação da vazão mínima prevista (Qmin) com a vazão superficial outorgada a montante (Qsup). O estresse hídrico da bacia é determinado em função dos valores e o estresse é indicado quando a Qsup $\geq$ Qmin

Foram desenvolvidas diversas ferramentas de inteligência territorial como suporte ao desenvolvimento regional que permitiram análise de cenários em dois importantes estudos de

caso. No estudo sobre a evolução do uso do solo no Oeste da Bahia e aptidão agrícola para a expansão da agricultura de sequeiro, observou-se a mudança de cobertura do solo do Oeste da Bahia, com expansão das áreas agrícolas de 1,97 Mha em 1990 para 5,14 Mha em 2020.

Para avaliar como poderá ocorrer o desenvolvimento futuro regional foi realizada uma análise que considerou as mudanças históricas da cobertura e uso do solo e a aptidão agrícola para a expansão da agricultura na região, levando-se em conta o aumento da produção agrícola e a preservação ambiental.

A aptidão agrícola foi caracterizada por meio dos critérios específicos que resultou nos mapas de aptidão da região. Posteriormente foram avaliadas as aptidões para a agricultura, pastagem e para a vegetação nativa, desconsiderando as áreas restritas de preservação permanente, reserva legal, unidades de conservação integral, áreas urbanas e corpos d'água.

A evolução do uso da terra no Oeste da Bahia segue dois padrões. Em primeiro lugar, as terras cultiváveis se estabeleceram principalmente nas áreas planas, chuvosas e com boa aptidão agrícola do extremo oeste da região e, nos anos posteriores, expandiram-se um tanto linearmente, com expansão subsequente em áreas de aptidão regular. As pastagens ocupam outras áreas com aptidão regular e restrita. Esta expansão linear durou até cerca de 2012–2013. O segundo padrão principal foi a expansão da agricultura irrigada. A localização da região no topo do aquífero Urucuia, a disponibilidade de vastos recursos hídricos superficiais e a topografia plana promoveram essa expansão. Enquanto a tendência nas áreas de cultivo de sequeiro aumentou até 2012 e quase se estabilizou depois disso, sendo que a taxa de expansão da irrigação triplicou a partir de 2011 em relação a taxa antes de 2010.

Completando, foi realizado uma ampla análise referente a análise de cenários para o desenvolvimento regional envolvendo o potencial de expansão da agricultura irrigada no Oeste da Bahia. A partir da comprovação da taxa média de 11.000 ha/ano de expansão da agricultura irrigada, com a conversão dos poucos pastos em terras com boa aptidão em áreas de culturas agrícolas, enquanto a área irrigada praticamente dobrou. Neste estudo de caso, usou-se dados disponíveis no OBahia e dados das estações fluviométricas da ANA para analisar o potencial de expansão da agricultura irrigada no Oeste da Bahia.

Com as premissas que a vazões bombeadas superficiais e subterrâneas contribuem igualmente para a redução da vazão dos rios, alguns critérios de definição de vazão dos principais rios na foz, critérios de outorga de 80% Q*90 para os rios Grande e Corrente (rios estaduais) e a Q*95 no caso do Rio Carinhanha (rio federal). O asterisco na vazão (Q*) indica vazão naturalizada, ou seja, Q* igual a vazão do rio no ponto de medição, mais a vazão estimada de irrigação acumulada à montante do ponto de medição (2001 a 2020). Estes critérios são detalhados no item 3 deste relatório

Os resultados indicam um potencial de crescimento de 829.616 ha (total de 1.046.375 ha e descontando-se a área já irrigada 216.759 ha) no cenário denominado Presente (2020) com vazão a outorgada calculada com base nas vazões medidas no período 1978-2020.

No cenário futuro, denominado de cenário de mudança climática, em que a vazão a ser outorgada é reduzida em 20%, assumindo que as reduções de chuvas e vazões que se iniciaram no início dos anos 1990 vão perdurar por mais algumas décadas. A análise do cenário futuro indica uma redução da vazão máxima outorgável de 388,42 m3/s para 310,74 m3/s, o que implica numa área máxima irrigável de 837.100 ha e um potencial de expansão de 620.341 ha, sendo distribuído de maneira aproximadamente igual nas bacias do Rio Grande, Rio Corrente e Rio Carinhanha.

Diversas observações e consideração são incluídas no final do item 3 que possibilita o real entendimento dos cenários de expansão da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia.

É apresentado um levantamento de indicadores para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade ambiental na agricultura, que é uma eficiente ferramenta para caracterização de sistemas agrícolas quanto ao uso de recursos naturais, existência ou ausência de políticas públicas agroambientais, desenvolvimento de tecnologias e práticas de manejo sustentáveis. Em geral, indicadores podem ser utilizados para elaboração de índices quantitativos ou para uma avaliação qualitativa do problema a ser estudado.

No sistema também fora incluídas ferramentas de governança estruturada em 3 pontos principais:

- Resumo das ações de governança no âmbito do projeto: identificação, justificativa e seus objetivos, seu enfoque em inovação, os impactos sociais e ambientais, seu potencial de impacto e difusão, identificação de ações para a sustentabilidade e adesão social;
- Informações técnicas e científicas acerca da agricultura e disponibilidade de recursos hídricos em base temporal;
- Ferramenta de governança disponíveis para download em formato de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Por último apresenta a ferramenta de Lucratividade Rural da plataforma OBahia que apresenta a descrição e o link para download de um modelo de otimização econômica da atividade agrícola considerando o regime hídrico e disponibilidade de outorga regional.

Disponibiliza-se uma sequência de vídeos de treinamento para uso da plataforma e uma lista de artigos científicos publicados durante a execução do projeto.

2.3 Resumo de águas subterrâneas -Aperfeiçoamento do modelo numérico de fluxo do sistema aquífero urucuia e avaliação de cenários de explotação futuros

O estudo referente ao aperfeiçoamento do modelo numérico de fluxo do sistema aquífero Urucuia e avaliação de cenários de explotação futuros partiu da premissa de que a região tem passado por um intenso desenvolvimento da atividade agrícola, em especial a agricultura irrigada, por meio de recursos hídricos provenientes de mananciais superficiais e subterrâneos. Esses mananciais têm uma origem comum, o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), sistema aquífero que se estende por toda a região, abrangendo também os Estados de Piauí, Tocantins, Goiás, e Minas Gerais, com uma área total de 120.000 km^2, sendo 82.000 km^2 no estado da Bahia.

Os trabalhos desenvolvidos representam um aprofundamento do estudo realizado anteriormente pela mesma equipe exclusivamente para área do SAU no estado da Bahia, no qual levantaram-se as características básicas do aquífero e realizaram-se simulações com o *software* Visual Modflow Classic, sobre a plataforma Modflow-2005 e contempla o levantamento de informações hidráulicas por meio de testes de bombeamento e por dados secundários, além do cálculo da recarga ao aquífero pelos citados no detalhamento na Parte 3 deste relatório. Essas informações foram utilizadas para atualização do modelo conceitual e do modelo numérico do Sistema Aquífero Urucuia.

Foram adotados diferentes critérios que permitem melhor refinamento e detalhamento do modelo, realizando as novas simulações de fluxo utilizando *software* Visual Modflow Flex,

tendo-se em conta que o mesmo representa o estado-da-arte da modelagem neste tipo de aquífero, envolvendo um melhor refinamento na simulação da interação aquífero-rios e aquífero-poços de bombeamento.

A metodologia utilizada contemplou um complemento da revisão bibliográfica sobre a hidrogeologia da área de interesse do SAU, a realização de novos testes de bombeamento em áreas carentes de informações, bem como o uso de métodos adicionais mais refinadas para estimativas de recarga. Estes dados foram então atualizados no Visual Modflow utilizando-se uma malha que permite um maior detalhamento em pontos de interesse (margens de rio, poços e seus arredores etc.).

A estimativa da taxa de recarga de águas é crucial para o desenvolvimento sustentável de aquíferos em geral e em especial para as regiões intensamente explotadas como o SAU. Com base nos resultados de diversos novos testes de bombeamento, realizou-se uma atualização do modelo conceitual e, segundo os resultados apresentados, a recarga estimada por diversos métodos em áreas de detalhe nas bacias rio Grande foi de 215,2 mm (21,7%) e do rio Corrente e Arrojado foram 295,5 mm (29,7%), ambas referenciadas ao volume médio precipitado no período entre 2011 e 2019, cujo detalhamento é apresentado na seção 4. Ao final, considerando os dados de recarga calculados para toda a área pelo Visual Modflow e balanço hídrico, foi possível determinar a reserva explotável, de 20% da recarga, tendo sido obtido um valor estimado de 3,72 km^3/ano, equivalente a cerca de 45 mm de lâmina de água em todo o território.

2.4 Resumo de governança

Um dos principais obstáculos para a implementação de um sistema de governança de recursos hídricos mais efetivo em geral são, a carência de informações, a falta de comunicação e de articulação entre os diferentes níveis e organismos que atuam na gestão dos recursos hídricos.

Neste contexto, no projeto procurou-se obter, estruturar e criar canais de comunicação e de confiança entre os usuários e partes interessas do sistema de gestão hídrica no Oeste da Bahia. Considerando que a alocação da água é uma questão econômica e política, regulamentada por um conjunto de leis formais e regras informais propostas, implementadas e controladas por diferentes grupos de interesse. Governança é, portanto, entendida como o conjunto de mecanismos e processos pelos quais o acesso, uso, controle, transferência e resolução de conflitos relacionadas a água são gerenciados.

Dentro do exposto o projeto criou as condições básicas para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos no Oeste da Bahia e para a expansão sustentável da agricultura irrigada de grande, média e pequena escala. Métodos científicos foram utilizadas para gerar informações sobre a disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, as quais foram publicadas em forma de artigos científicos em revistas internacionais e disponibilizados em uma plataforma aberta na internet, o sistema OBahia.

Um intenso trabalho de envolvimento de usuários permitiu criar canais de comunicação eficientes para divulgar os resultados do projeto, gerando confiança em relação ao projeto e entre os próprios participantes do sistema de gestão de recursos hídricos no Oeste da Bahia. As ações e os resultados foram compartilhados com o poder executivo, formuladores de políticas públicas e órgãos do judiciário. Cerca de 5 reuniões foram realizadas com o Ministério Público, nas quais os objetivos do projeto e os resultados do estudo foram apresentadas. Ações integradas com os Comitês de Bacia Hidrográficas dos Rios Grande, Corrente e São Francisco foram realizadas e criou-se um produtivo canal de comunicação com especialistas do Consórcio

responsável pela elaboração do Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos D'água da RPGA do Rio Grande - BA. Com informações fundamentas, canal de comunicação transparente e confiança dos participantes, foi possível elaborar um modelo de governança e monitoramento com base em proposições concretas. Um exemplo altamente relevante para o Oeste da Bahia foi o desenvolvimento de uma metodologia mais atual com base em resultados de modelos científicos para a definição da distância entre poços.

Além da atualização e aprimoramento de procedimentos administrativos e critérios técnicos para a exploração de água subterrânea, foram feitas propostas para ajuste no tempo de bombeamento com o objetivo de diminuir custos de irrigação sem afetar a disponibilidade hídrica. Também foram propostas alterações no processo de outorga com base em informações sobre a disponibilidade sazonal, permitindo a otimização do uso dos recursos hídricos e viabilizando a expansão sustentável da irrigação. A desvinculação do volume ou vazão da água outorgada com a área utilizada para irrigação e produção é uma proposta que estimularia o uso eficiente e a adoção de tecnologias, as quais aliadas à exigência de mediação da água bombeada permite o melhor controle do volume de água utilizados. Finalmente, foi proposto a disponibilização de informações cartográficas, como uso do solo e recursos hídricos a partir da integração da plataforma OBahia, desenvolvido pelo projeto, com sistemas do Governo do Estado da Bahia.

Um amplo programa de capacitação como base em metodologias presenciais e de Ensino à Distância foi disponibilizado. Os cursos permitiram a capacitação de especialistas, técnicos, acadêmicos e produtores rurais e a criação de um repositório para consulta e utilização futuras nas áreas de irrigação e recursos hídricos. Além de cursos, uma série de webinars apresentou, em linguagem acessível, os resultados dos artigos científicos gerados pelo projeto. As ações de capacitação estão integradas direta ou indiretamente com ações de governança para aumento da transparência dos resultados, geração de confiança e viabilização da implementação das propostas. Como exemplo, três cursos sobre *software* Modflow foram oferecidos para técnicos do INEMA/SEMA, as quais foram capacitados a aplicar a metodologia proposta de definição da distância entre poços utilizando o sistema computacional de referência internacional na área de hidrogeologia.

A existência de um sistema de monitoramento eficiente é imprescindível para que as recomendações de aprimoramento do sistema de gestão dos recursos hídricos sejam concretizadas. Neste sentido, diversas ações de discussão de tecnologias e sistemas foram realizadas, envolvendo técnicos de organizações e empresas, além de especialistas brasileiros e americanos. A apresentação e discussão do modelo de monitoramento para os produtores rurais gerou a proposta e aprovação de um projeto específico para a estruturação, em parceria com o Instituto Water for Food da Universidade do Nebraska de um sistema modelo de monitoramento para uma área identificada como críticas pelo projeto.

No desenvolvimento do projeto foi considerado o potencial da irrigação no aumento da produtividade, diminuição de risco de produção, aumento da eficiência dos recursos produtivos e rentabilidade para todas as escalas de produção. Para a agricultura familiar, além de palestras e capacitações, o contato com a empresa de irrigação localizada viabilizou a implantação de unidades demonstrativas na Escola Modelo da AIBA e no Campus Barra da Universidade Federal do Oeste da Bahia. Além destes resultados diretos do projeto, projetos para a agricultura familiar foram implementadas pela AIBA, os quais poderão se beneficiar as ações realizadas. Finalmente, foi elaboração de um projeto de utilização compartilhada de pivô central para a agricultura familiar, o qual contou com o apoio de empresas, revendas, especialistas e extensionistas.

2.5 Inovação, difusão e impactos sociais e ambiental

O estudo procurou trazer um enfoque inovador para a análise dos recursos hídricos, destacando-se a visão integrada, sistema de difusão dos resultados e produtos na web e a estratégia de envolvimento amplo dos principais participantes do sistema de gestão dos recursos hídricos do Oeste da Bahia.

Do ponto de vista técnico, as análises dos recursos hídricos superficiais e subterrâneas foram realizadas de forma integrada considerando a dinâmica do uso do solo e aspectos climáticos e integrados em um sistema de inteligência territorial.

Foi implementado um conjunto de ações para a criação de uma rede de confiança baseada em intensa troca de informações sobre os objetivos e andamento dos estudos. Estes canais estão permitindo a proposição e discussão de modificações e aperfeiçoamento de normas, além da disponibilização e capacitação de agentes públicos no uso de modelos desenvolvidos pelo estudo, como modelos hidrogeológicos.

Todas as ações basearam-se na implementação prática e estruturada dos três pilares para o sucesso de um sistema de gestão dos recursos hídricos, ou seja: estudos, monitoramento e a governança.

As ações do projeto envolveram diretamente mais de 100 organizações de diversos setores, as quais participaram diretamente de seminários, reuniões e visitas técnicas. O projeto implementou ações estruturadas buscando a criação e o fortalecimento de canais de comunicação e confiança entre organizações dos mais diversos setores.

Os resultados gerados dentro de um modelo de integração das informações permitiram difusão e potencial transformador com vistas a segurança hídrica para a região. Envolveu os aspectos climáticos, do solo (características e uso), irrigação, demanda hídrica, disponibilidade e modelagem de águas superficiais e subterrâneas. A ampla parceria com secretarias estaduais (SEMA, SEAGRI, SIHS) e em especial com o INEMA (órgão gestor), os agentes federais (ANA, CPRM), tem possibilitado frequentes reuniões para análise metodológica e dos resultados.

Diversas reuniões foram realizadas para avaliação de bancos de dados (em especial das outorgas disponibilizadas), treinamento do uso dos sistemas informáticos Obahia e Visual ModFlow. O sistema OBahia desenvolvido caracteriza um importante sistema aberto em linguagem Web que além de reunir informações completas do projeto, permite ações de planejamento, de conexão com outros sistemas de gestão e de atualização.

Destaque também a interação e repasse de informações entre o projeto e os técnicos responsáveis pelo plano de recursos hídricos (rios Grande e Corrente e riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho).

O projeto teve grande difusão e interesse, com proposta, metodologia, resultados amplamente divulgados em eventos nacionais e internacionais, publicados em relatórios, artigos técnicos e científicos, atingindo além da região Oeste da Bahia outras importantes regiões agrícolas do país.

Informações sobre o projeto e sua articulação em prol da agricultura irrigada sustentável foram destaques nas reuniões de criação e estruturação do Polo de Irrigação do Oeste da Bahia sob a coordenação do Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), trazendo subsídios das informações necessárias para uma o sucesso da implantação dos respectivos polos de agricultura irrigada.

Em geral o projeto trouxe imediato impacto social e ambiental quando desenvolveu diversas ações que permitiram amplo debate sobre recursos hídricos junto aos produtores, gestores estaduais e federais, docentes e discentes das universidades locais, comitês de bacia, envolvimento internacional e outros. Este debate trouxe expectativa positiva de desenvolvimento dos conhecimentos técnicos e científicos relacionados a disponibilidade hídrica e a sua gestão.

Os impactos socioeconômicos do estudo serão concretizados através da implementação de mudanças sugeridas em normas e modelos de gestão que, baseados em informações técnicas e sistemas de monitoramento, viabilizando o uso múltiplo dos recursos hídricos e a expansão sustentável da agricultura irrigada.

Importante também destacar no projeto a divulgação e implementação de ações para disseminação e fortalecimento da agricultura irrigada de pequena escala, como capacitações e instalação de sistemas pilotos de irrigação em áreas estratégicas, complementam as ações de políticas públicas de inserção de mercado e aumento da eficiência técnica na agricultura familiar.

No aspecto ambiental, os estudos sobre disponibilidades hídricas confirmaram a estreita interação entre águas superficiais e subterrâneas com consequências importantes em relação a estratégia de outorga de uso da água, o histórico de ocupação da área e efeitos no solo, na capacidade das áreas de produção em condições irrigadas de mitigar o efeito estufa através do aumento do nível de carbono no solo e disponibilizaram informações para o planejamento adequado do uso dos recursos hídricos. O estudo teve como foco aspectos quantitativos, mas a rede de monitoramento proposta, integrada à rede existente, poderá incorporar procedimentos estruturados sobre a qualidade da água.

O projeto envolve um amplo programa de trabalho participativo e transferência de tecnologia, com intercambio de técnicos da região, durante as inúmeras visitas, reuniões e treinamentos na região Oeste e na Universidade Federal de Viçosa.

Parte 3:
Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica

Equipe: Marcos Heil Costa, Ph.D. (coordenador)
Gabrielle Ferreira Pires, DS
Emily Ane Dionizio da Silva, DS
Ana Beatriz dos Santos, MS
Raphael Pousa dos Santos, MS
Eng° Fernando Martins Pimenta
Bel. Pauline Rodrigues de Souza
Matheus Lucas da Silva (tecnólogo)

SUMÁRIO

3.1 Resumo executivo 25

3.2 Introdução 26

3.3 Produto 3.1: Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia 27

3.3.1 Monitoramento Remoto das Áreas Irrigadas 29

3.3.2 Expansão das Funcionalidades do Sistema OBahia 34

3.3.3 Desenvolvimento de Ferramentas de Inteligência Territorial 42

3.4 Produto 3.2: Transferência de Tecnologia e Capacitações 80

3.4.1. Treinamentos e Transferência de Tecnologia sobre o Sistema de Inteligência Territorial para o Oeste da Bahia 80

3.4.2 Publicação de Artigos Científicos sobre os Recursos Hídricos da Região 83

3.5 Referências 84

3.1 Resumo executivo

Esta seção apresenta a plataforma OBahia – Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia. O OBahia disponibiliza informações e ferramentas de visualização de mapas, recorte e elaboração de gráficos de dados diversos relacionados à evolução da realidade regional, monitoramento, análise e projeções da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea associada às demandas atuais e futuras {3.3}. Além do sistema em si, são apresentados também estudos de caso {3.3.3}, uma sequência de vídeos de treinamento para uso da plataforma e uma lista de artigos científicos publicados durante a execução do projeto {3.4}. As principais conclusões da análise são as seguintes:

3.1.1 As áreas de cultivo de sequeiro expandiram até 2012 e quase se estabilizaram depois disso {Figura 3.3.3.c.3.(a)}, enquanto a taxa de expansão da irrigação depois de 2011 foi de cerca de 11.000 ha/ano, aproximadamente três vezes maior do que a taxa antes de 2010, ocorrendo principalmente em áreas de aptidão agrícola boa e regular {3.3.3.c}.

3.1.2 O cenário presente de expansão da irrigação é um cenário de escassez hídrica, considerando dados até 2020. Neste cenário, há um potencial de irrigação de 1.046.000 ha nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha. Descontando os 217.000 ha atualmente irrigados na região, resta um potencial de expansão de 830.000 ha, sendo 37% na Bacia do Rio Grande, 32% na Bacia do Rio Corrente e 31% na Bacia do Rio Carinhanha {Tabela 3.3.3.d.4}. Considerando as taxas de expansão da irrigação dos últimos 10 anos, levará 75 anos para esse cenário seja realizado, o que justifica a adoção também de um cenário futuro, considerando as mudanças climáticas {3.3.3.d}.

3.1.3 O cenário futuro, de mudanças climáticas, considera uma redução de 20% nas vazões disponíveis para outorga. No cenário futuro, há um potencial de irrigação de 837.000 ha nas três bacias. Descontando o atualmente sob irrigação, resta um potencial de 620.000 ha para expansão da irrigação, divididos de forma mais ou menos igual entre as três bacias {3.3.3.d, Tabela 3.3.3.d.5}.

3.1.4 Qualquer dos dois cenários de expansão é dividido espacialmente em diferentes categorias: (1) áreas restritas para expansão (Reserva Legal, Áreas de Proteção Permanente, Unidades de Conservação, área urbanas e corpos d'água); (2) áreas com outorgas já saturadas ou muito próximas da saturação, nas quais não recomendamos novas concessões de outorgas antes da implementação de um sistema de monitoramento de disponibilidade e uso de recursos hídricos; (3) Áreas de maior aptidão, com acesso a dois tipos de recursos hídricos (superficial ou subterrâneo), tem topografia plana e já são usadas por culturas agrícolas ou pastagens. Expandir a irrigação sobre essas áreas não implica em desmatamento adicional; (4) As áreas com alta aptidão, pelos mesmos critérios anteriores, mas ainda estão cobertas por vegetação nativa, e que requerem desmatamento para expansão da agropecuária. Destacamos aqui que todo o potencial de expansão da irrigação na região pode ser atingido sem desmatamento adicional; (5) áreas com boa aptidão para expansão da irrigação, com acesso apenas a recursos hídricos superficiais, e localizadas a no máximo 10 km de distância dos principais cursos d'água. Também são áreas com topografia suave, e já são atualmente usadas para culturas agrícolas ou pastagens, não sendo necessário desmatamento adicional para expansão da irrigação; (6) áreas de baixa aptidão ou mesmo inaptas para expansão da irrigação. São áreas sem acesso fácil a recursos hídricos, ou de topografia acentuada, e/ou cobertas por vegetação nativa. Essas áreas devem ser evitadas na expansão da irrigação {Figura 3.3.3.d.1}.

3.1.5. No cálculo do potencial de expansão foram adotados diversos critérios conservadores, que minimizam situação de insegurança hídrica: (1) Foi assumido que vazões bombeadas superficiais e subterrâneas contribuem igualmente para a redução da vazão dos rios, sendo a única diferença o tempo em que o bombeamento levará para causar efeito direto na vazão do rio; (2) Uso do máximo valor de uso da água para o período 2001-2020, como valor de cálculo de vazão de irrigação representativa; (3) Cenário presente de escassez, considerando os anos extremamente secos de 2015-2020; (4) Cenário futuro de redução adicional de vazões disponíveis para outorga; (5) Recomendação de não-expansão em áreas onde o uso dos recursos hídricos já está saturado; (6) Recomendação de baixa prioridade para expansão em áreas com pouco potencial de expansão {3.3.3.d}

3.1.6. Os índices de sustentabilidade calculados indicam que a agricultura no Oeste da Bahia tem se tornado mais sustentável nos últimos 5-10 anos, com redução do desmatamento e do número de incêndios. Além disso, a região tem se tornado mais desenvolvida, com aumentos muito significativos nos IDH municipais entre 1990 e 2010, passando de muito baixo em todos os municípios em 1990 para médio ou alto na maioria dos municípios em 2010 {3.3.3.e}.

3.2 Introdução

A agricultura do Século 21 apresenta desafios sem precedentes. Ao mesmo tempo em que a demanda global por alimentação humana e animal, fibras e biocombustível deverá dobrar entre 2000 e 2050, esse aumento de produção está ocorrendo sob mudanças climáticas, e com exigências consideráveis sobre a sustentabilidade ambiental, econômica e social, única forma de garantir a sobrevivência de longo prazo, desde o empreendimento individual ao do setor como um todo.

Essas exigências e restrições colocam o setor agrícola de maneira geral num restrito espaço seguro de operação: Ao mesmo tempo em que a produtividade agrícola e dos rendimentos de culturas deve aumentar, a atividade agrícola (global) deve reduzir ao máximo suas emissões de CO_2, para evitar mudanças climáticas severas e ao mesmo tempo estar preparada para os efeitos das mudanças climáticas que já estão ocorrendo e podem se intensificar nas próximas décadas. Isso sem esquecer a sustentabilidade econômica do negócio agrícola e a sustentabilidade social, com geração de empregos estáveis, melhorias da qualidade de vida e desenvolvimento humano, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas (https://brasil.un.org/pt-br/sdgs).

Um conceito chave relacionado ao aumento da produtividade é a intensificação sustentável, muitas vezes associada ao uso intensivo de tecnologia e de insumos agrícolas, incluindo fertilizantes, agroquímicos e, no caso da agricultura irrigada, de recursos hídricos. Além disso, em segundo lugar, visa a redução da exposição dos agricultores a riscos de curto prazo, ao mesmo tempo que fortalece a sua resiliência, desenvolvendo a sua capacidade de adaptação e prosperidade face a tensões a longo prazo.

Esses conceitos gerais são de difícil aplicação na prática, devido a diversos fatores, incluindo a falta de informações sobre o uso sustentável de recursos e a evolução da realidade regional no tempo, entre outros. Nossa proposta para enfrentar esse desafio é o de consolidar, em local único com fácil acesso por todos, informações relevantes para a compreensão da realidade regional, para a tomada de decisões em tempo hábil e para o planejamento regional.

O objetivo desta seção é descrever um sistema web de inteligência territorial e hídrica para monitoramento, análise e projeções da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea associada às demandas atuais e futuras.

3.3 Produto 3.1: Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia

O sistema desenvolvido é conhecido como OBahia, forma compacta de se referir ao Oeste da Bahia, e pode ser acessado em http://obahia.dea.ufv.br. Ao longo deste relatório, o nome OBahia é usado de forma intercambiável para descrever ou o sistema em si ou a URL onde o mesmo pode ser acessado. Além disso, links especiais (atalhos) podem ser usados para direcionar o leitor diretamente à ferramenta de interesse.

A plataforma OBahia começou a ser desenvolvida em 2017, sob financiamento do PRODEAGRO, inicialmente apenas para visualização de mapas. Em seguida, foi substancialmente melhorada, com recursos do CNPq e deste convênio, para incluir ferramentas de previsão hidroclimática e ferramentas de análise automatizadas.

A plataforma OBahia é composta por diferentes componentes:

a. Visualizador de mapas, que normalmente apresenta mapas estáticos no tempo, embora em alguns casos possam ser apresentadas mapas equivalentes para diferentes anos.
b. Visualizador de séries temporais de mapas, que apresenta mapas similares ao longo do tempo de diferentes variáveis, juntamente com diferentes tipos de gráficos que permitem avaliar a evolução destas variáveis no tempo, sendo ainda possível recortar as variáveis de diferentes maneiras: toda a região das Bacias do Grande, Corrente e Carinhanha, por bacia hidrográfica, por município, e por área de drenagem à montante de algumas estações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).
c. Um sistema de apresentação de previsão do início da estação chuvosa para o Oeste da Bahia e regiões adjacentes, atualizado duas vezes por ano (em 01 de agosto e 01 de setembro).
d. Um sistema de previsão de vazões mínimas anuais, apenas para as estações da ANA que transmitem dados por telemetria. Além disso, o sistema calcula o nível de estresse hídrico previsto para aquela área de drenagem naquele ano. A previsão é atualizada três vezes por ano (em 01 de maio, 01 de junho e 01 de julho).
e. Um módulo de visualização de resultados do modelo de águas subterrâneas, desenvolvido na Seção 2 deste projeto.
f. Um módulo para visualizar informações de governança a nível municipal.
g. Um botão para download do modelo de otimização do lucro da propriedade rural e respectivo manual de uso.

A maioria das ferramentas são descritas em quatro níveis de profundidade: (1) uma breve descrição de uma frase, na página principal, para apresentar brevemente a ferramenta; (2) uma descrição resumida de um parágrafo no menu ao lado esquerdo da ferramenta; (3) uma descrição mais aprofundada da metodologia usada clicando-se no ícone de informações adicionais (Botão “i”); (4) referências para links de artigos científicos ou dissertações onde a metodologia e os resultados são apresentados e discutidos com a máxima profundidade.

Todas as ferramentas são disponíveis em português e inglês. Ao ser carregado, o sistema identifica a linguagem padrão usada pelo browser do usuário. Se for português, o sistema carrega a versão em português; senão, a versão em inglês é carregada. É possível alternar entre

as versões a qualquer momento, clicando-se no ícone “Português/Inglês”, que é representado pela bandeira dos Estados Unidos ou do Brasil.

Inicialmente apresentamos uma descrição técnica das atividades envolvidas no desenvolvimento do sistema. Em seguida, apresentamos as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos para o monitoramento remoto das áreas irrigadas (Seção 3.3.1), e as atividades desenvolvidas para a expansão das funcionalidades do sistema OBahia (Seção 3.3.2), incluindo o desenvolvimento de ferramentas de inteligência territorial (Seção 3.3.3). Os itens 3.3.3.c e 3.3.3.d apresentam dois estudos de caso relacionados ao desenvolvimento regional, que foram desenvolvidos essencialmente com as ferramentas disponibilizadas na plataforma.

Descrição técnica das atividades envolvidas no desenvolvimento do sistema

Para viabilizar o pleno funcionamento do Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia houve a necessidade de criar um ambiente de desenvolvimento completo com serviços utilizados diretamente pelo sistema operacional da Workstation dimensionada pela equipe. Na lista abaixo, estão descritos resumidamente os principais processos de instalação, configuração e desenvolvimento que foram necessários para o suporte e operação final da plataforma OBahia:

- Dimensionamento da máquina servidora para hospedar de forma segura e robusta a plataforma OBahia e tecnologias que fazem parte do projeto;
- Análise de requisitos para o desenvolvimento realizado junto aos membros e coordenador do projeto;
- Análise das principais ferramentas disponíveis gratuitamente para o desenvolvimento do sistema de acordo com os padrões web W3C e OGC;
- Instalação e configuração do sistema operacional Linux na máquina servidora e na máquina de desenvolvimento;
- Instalação de diversos pacotes para um ambiente de desenvolvimento utilizando linguagens como: Python, Perl, Shellscript, Java, JavaScript, CDO, e bibliotecas Gdal;
- Instalação e configuração de pacotes para dar suporte ao gerenciamento de base de dados, como: GeoServer, PostGreSQL e PostGis;
- Instalação e configuração de módulos de apoio para Servidor HTTP Apache;
- Instalação, configuração e customização do sistema de gerenciamento de conteúdo geoespacial GeoNode;
- Instalação de ambiente virtualizado Docker para dar suporte a vários serviços de automação e processamento de dados;
- Desenvolvimento de scripts com rotinas de sistema para agendamento de downloads, processamento de dados meteorológicos baixados e atualização da base de dados;
- Implementação de demandas de segurança exigidas pela Diretoria de Tecnologia da Informação (DTI/UFV) como: instalação e configuração de Firewalls, implementação e configuração do sistema auditor de acessos;

- Desenvolvimento de versões protótipo do Servidor de mapas e das outras aplicações que compõem o sistema de inteligência territorial;
- Desenvolvimento de versão final de todas as aplicações do Sistema de inteligência territorial para o Oeste da Bahia;
- Testes das diferentes versões do sistema, correções de bugs, atualizações em função das sugestões de usuários selecionados;
- Tradução dos textos e implementação da versão em inglês da plataforma; revisão da tradução.
- Gravação de vídeos rápidos de apresentação e treinamento para todas as ferramentas. Um total de 10 vídeos foram desenvolvidos e estão disponíveis no YouTube, através de links disponíveis na própria plataforma.

O Sistema de Inteligência territorial para o Oeste da Bahia está hospedado no servidor definitivo, e pode ser acessado pelo endereço **http://obahia.dea.ufv.br** em qualquer navegador de internet e sistema operacional, sendo necessário habilitar os pop-ups para que a plataforma funcione corretamente. A plataforma funciona em celulares, tablets e monitores de qualquer resolução, mas para melhor aproveitamento dos recursos do sistema, recomendamos fortemente o uso de monitores de alta resolução (UHD/4K – 3840 x 2160).

3.3.1 Monitoramento Remoto das Áreas Irrigadas

(a) Séries históricas anuais dos mapas de infraestrutura de irrigação instalada, resolução de 30 metros para o período de 1990 a 2020, produzidas e disponibilizadas virtualmente através da plataforma OBahia

O mapeamento da área irrigada por pivôs centrais foi obtido por meio de quatro etapas. A primeira etapa consistiu no processamento de imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 para o período seco da região (abril a setembro) desde 1990 até 2020, com auxílio da computação em nuvem nos clusters da plataforma Google Earth Engine. Mais de 40 mil imagens foram filtradas a partir da mediana dos pixels para o período e mosaicadas para a região de estudo para produzir uma imagem para cada ano (Pimenta et al. 2021). A segunda etapa consistiu na mesclagem dos mapas anuais gerados com os dados dos pivôs centrais de Landau et al. (2014) e do projeto OpenStreetMaps para obter um mapa de pivôs inicial da região, o qual foi submetido a correções geométricas e topológicas. A terceira etapa consistiu na digitalização das feições dos pivôs centrais, realizando correções de posicionamento e edição de feições por meio do reconhecimento nas imagens de cada ano, com auxílio das bandas do visível (RGB) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Por fim, as geometrias dos pivôs centrais anuais passaram por uma análise de tendência e precisão de seus componentes posicionais para validação da precisão posicional, produzindo um mapa final sem tendências nos tamanhos dos pivôs centrais e com precisão adequada à escala de 1:150.000, compatível com a resolução das imagens Landsat (Pousa et al., 2019).

Um exemplo para a região de Luiz Eduardo Magalhães em 2019 é apresentado na Figura 3.3.1.a.1.

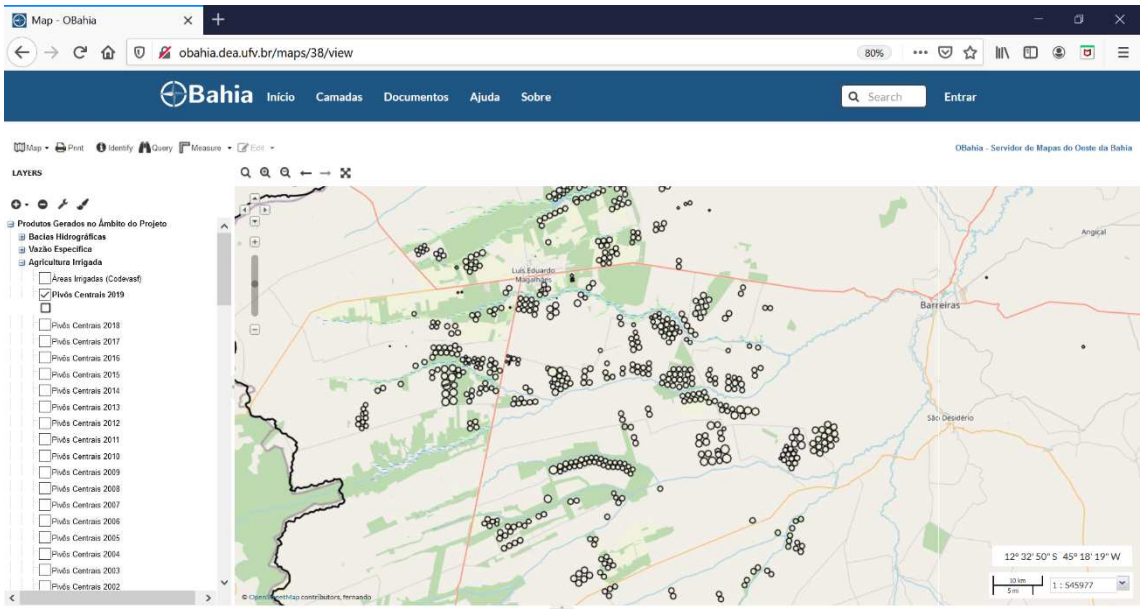

Figura 3.3.1.a.1 - Mapa de infraestrutura de irrigação instalada para o ano de 2019, como apresentado na plataforma, com destaque para a região de Luis Eduardo Magalhães.

A ferramenta foi atualizada com a inclusão das áreas com infraestrutura de irrigação instalada para o ano de 2020. O mapeamento histórico das áreas com infraestrutura de irrigação instalada estão disponibilizados no servidor de mapas da plataforma OBahia (http://obahia.dea.ufv.br), selecionando-se a ferramenta "Servidor de Mapas", e em seguida, no menu à esquerda, "Produtos gerados pelo projeto/Agricultura irrigada" e o mapa de interesse.

(b) Séries históricas mensais de mapas de área efetivamente irrigada, resolução de 30 metros para o período de 2001 a 2020, produzidas e disponibilizadas virtualmente através da plataforma OBahia

O conjunto de dados sobre as áreas com infraestrutura de irrigação instalada (item 3.3.1-a) foi utilizado nesta etapa para delimitar as áreas a serem analisadas. Devido à necessidade de um conhecimento melhor sobre as estações de cultivo para cada pivô central, uma classificação simples dos pivôs foi realizada com base na presença ou ausência de uma cultura em crescimento.

O NDVI mostrou ser um indicador útil de mudanças espaço-temporais no crescimento e distribuição da vegetação ao longo do tempo (Barbosa et al., 2006; Pereira et al., 2018). Devido à sua facilidade de aplicação e bons resultados, o NDVI é talvez o índice de vegetação mais amplamente utilizado em estudos de sensoriamento remoto (Karthikeyan et al., 2020). Assim, os pivôs centrais foram classificados em duas classes (irrigado / não irrigado) através do uso do NDVI. Primeiro, o índice foi calculado usando todos os dados do Landsat disponíveis para o período de 2001 a 2020. Em seguida, composições mensais foram feitas considerando os pixels de valor máximo de NDVI, eliminando os pixels prejudicados devido à presença ou sombras de nuvens. As lacunas foram preenchidas com composições mensais do NDVI do produto MODIS MOD13Q1 NDVI (versão 6). A Figura 3.3.1.b.1(a) mostra um exemplo da série temporal preenchida para um pivô central.

Para determinar o limite de NDVI entre um pivô irrigado e não irrigado, foram utilizados dados de campo de datas de plantio e colheita para 69 pivôs centrais durante os anos de 2017 e

2018. Um exemplo de comportamento de NDVI (somente Landsat) em sete pivôs centrais localizados na bacia do Rio Corrente é mostrado na Figura 3.3.1.b.1(b). Nesse caso, os sete pivôs foram plantados e colhidos na mesma semana com a mesma cultura (algodão e depois soja). Nesta figura, como foram usados apenas dados Landsat, as interrupções nas linhas identificam locais onde não foi possível obter dados devido à presença de nuvens. Entre duas rotações de cultura, os valores de NDVI variam de 0,25 a 0,35. Assim, o valor de NDVI de 0,25 foi adotado como o limite entre presença e ausência de safras em todos os compostos mensais. Pixels com valores superiores a esse limite foram classificados como pixels com cultura presente (ou seja, irrigado), e pixels com valores menores que 0,25 como pixels sem cultura crescente (ou seja, não irrigado). O produto final se caracteriza como um conjunto de 240 mapas mensais (20 anos x 12 meses por ano) disponível em http://obahia.dea.ufv.br/irrigation. Para o ano de 2020, um recorte dos mapas de área irrigada e não irrigada é apresentado na Figura 3.3.1.b.2.

Maiores detalhes sobre a metodologia de desenvolvimento desta pesquisa podem ser encontrados no artigo *A remote sensing diagnosis of water use and water stress in a region with intense irrigation growth in Brazil*, publicado no periódico *científico Remote Sensing* (Santos et al., 2020).

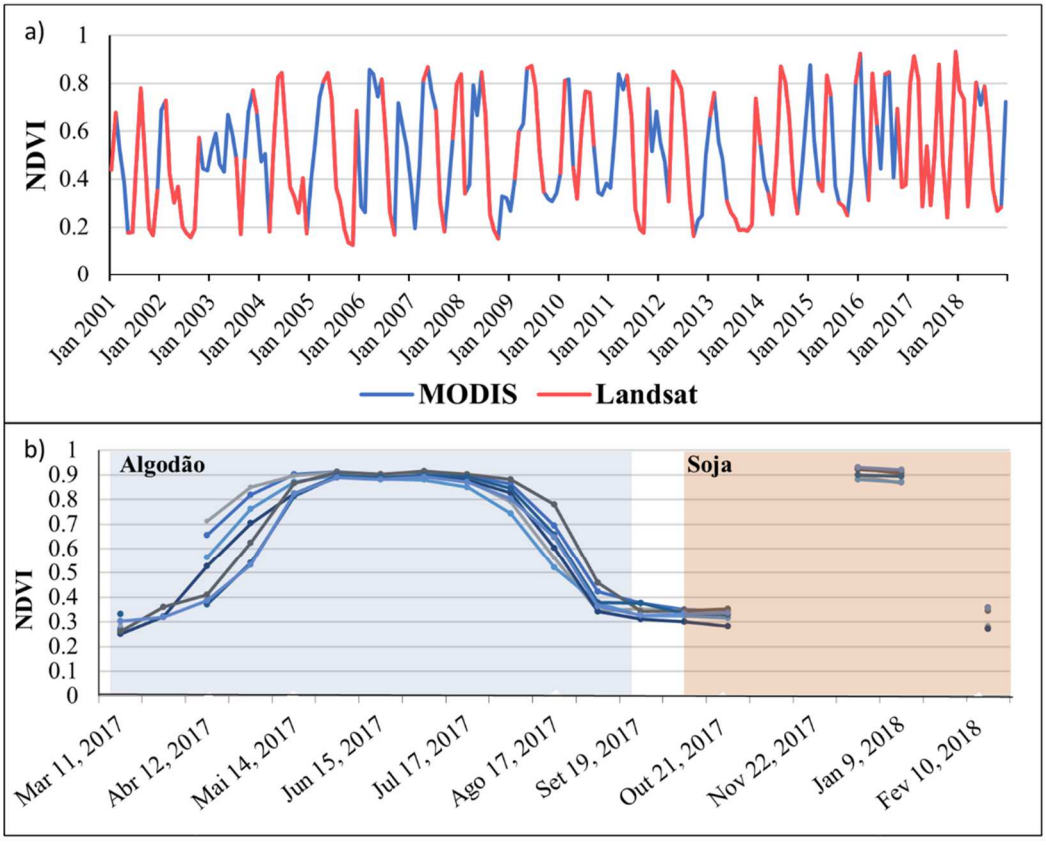

Figura 3.3.1.b.1. - (a) Série de NDVI calculada a partir do Landsat preenchida com dados MODIS para um único pivô. (b) comportamento do NDVI em sete exemplos de pivôs centrais na bacia do Corrente, onde as áreas sombreadas indicam os períodos em que a cultura estava no campo. Figura adaptada de Santos et al. (2020).

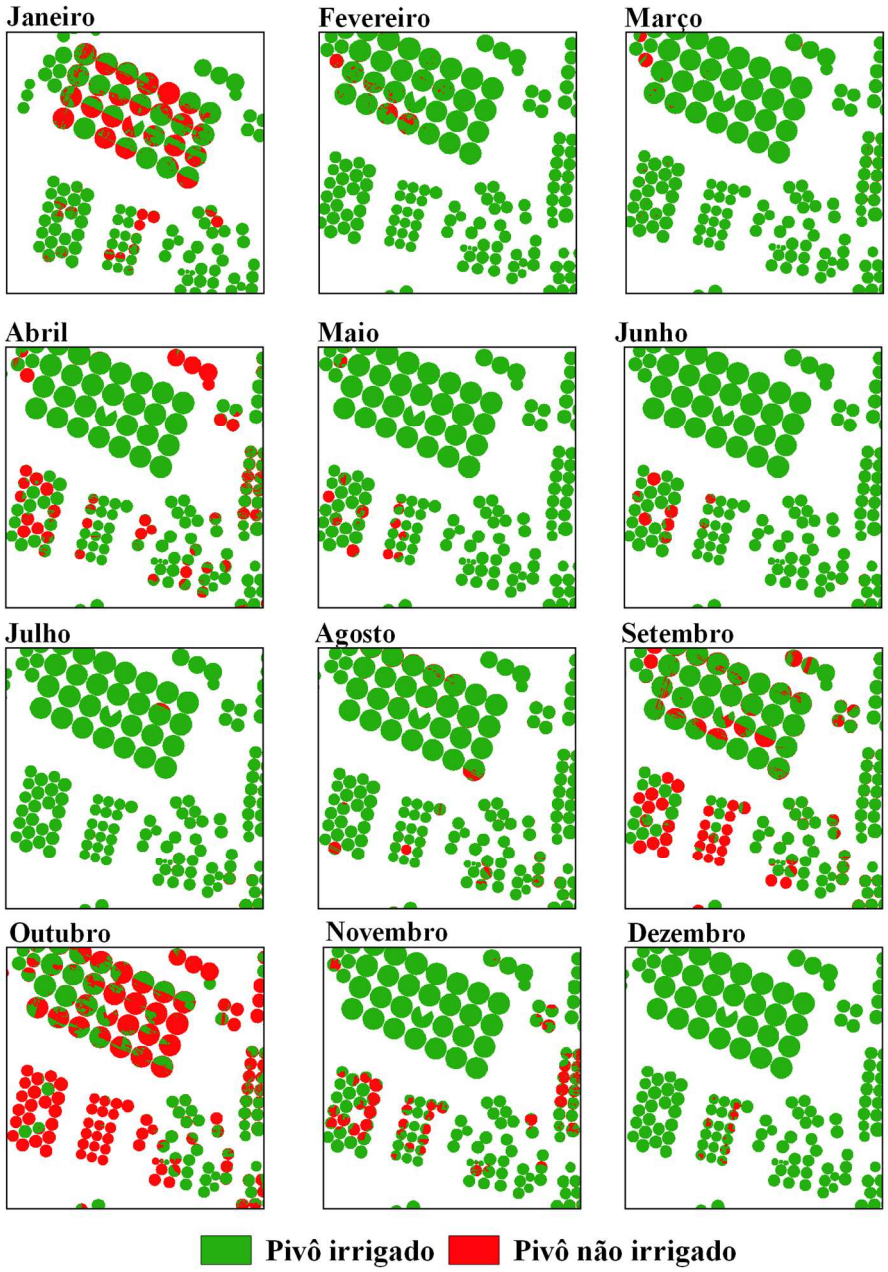

Figura 3.3.1.b.2 - Mapas de pivôs irrigados (com cultura) e não irrigados (sem cultura) de uma seção da região para todos os meses do ano de 2020.

(c) Séries históricas mensais de mapas de demanda evapotranspirométrica em cada pivô central, para o período de 2001 a 2020, durante o período de crescimento das culturas, produzidas e disponibilizadas virtualmente através da plataforma OBahia

Já para a construção das séries histórias mensais de mapas de demanda evapotranspirométrica (ET) em cada pivô central foi utilizado o conjunto de dados do produto MODIS ET (produto MOD16A2 Versão 6 Evapotranspiração / Fluxo de Calor Latente). O algoritmo utilizado no produto MOD16A2 é baseado na lógica da equação de Penman-Monteith, e inclui entradas de dados de reanálise meteorológica diária junto com outros produtos de dados de sensoriamento remoto MODIS, como propriedades ópticas de vegetação

dinâmica, albedo e cobertura da terra (Mu et al., 2013). O conjunto de dados MOD16A2 é um produto de oito dias de resolução temporal – isto é, os valores de pixel para a camada de evapotranspiração são a soma de todos os oito dias dentro do período composto. Os dados foram filtrados para presença e sombra de nuvens e, posteriormente, foi feita a composição por soma mensal. O produto final se caracteriza como um conjunto de 240 mapas. Para o ano de 2020, um recorte dos mapas de ET é apresentado na Figura 3.3.1.c.

Maiores detalhes sobre a metodologia de desenvolvimento desta pesquisa podem ser encontrados no artigo *A remote sensing diagnosis of water use and water stress in a region with intense irrigation growth in Brazil*, publicado no periódico *científico Remote Sensing* (Santos et al., 2020). Os dados e as séries históricas referentes ao monitoramento remoto das áreas irrigadas estão disponibilizados na ferramenta de Séries Temporais de Mapas no OBahia e são descritas na seção 3.3.2.a.iii.

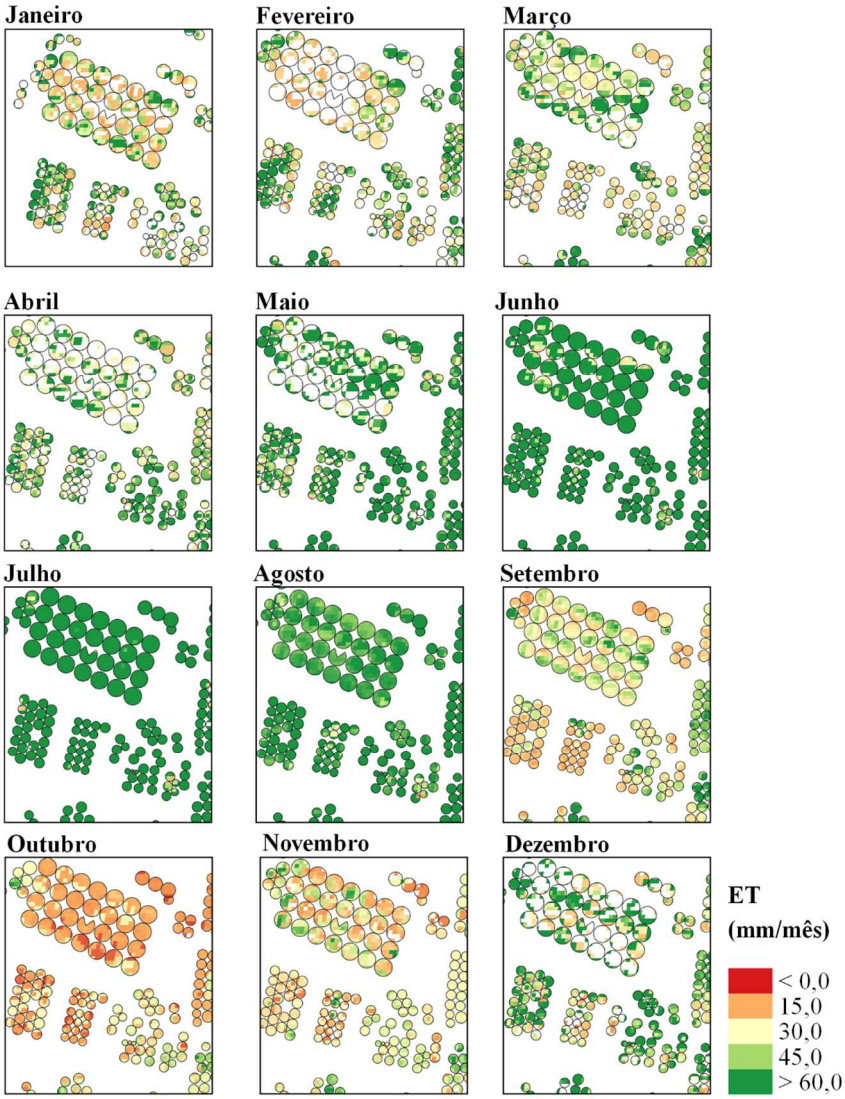

Figura 3.3.1.c - Mapas de demanda evapotranspirométrica (ET) de uma seção da região para todos os meses do ano de 2020. Os dados faltantes são as regiões onde houve contaminação da imagem por presença ou sombra de nuvens. Esses dados não devem ser analisados individualmente por pivô central, mas para um conjunto de pivôs.

3.3.2 Expansão das Funcionalidades do Sistema OBahia

(a) Novo módulo de visualização online das séries temporais dos mapas, pré-carregado com diferentes séries de mapas

O novo módulo de visualização de séries temporais foi desenvolvido para disponibilizar de forma rápida e intuitiva as informações georreferenciadas das séries históricas de dados de Cobertura e Uso do Solo, Áreas Irrigadas e das Séries Temporais de Estoque de Carbono, bem como as estatísticas relacionadas a elas (Figura 3.3.2.a.1).

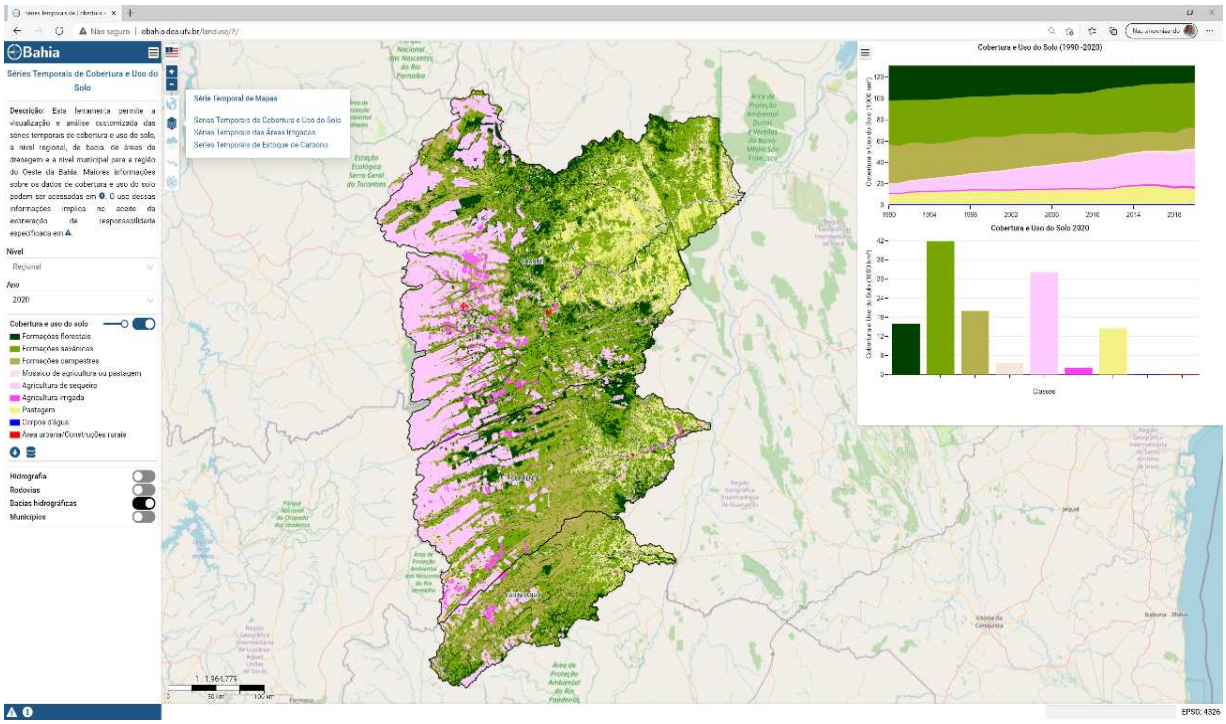

Figura 3.3.2.a.1 - A ferramenta de visualização de séries temporais é inicializada com os dados de cobertura e uso do solo. À esquerda se encontra o menu principal e o menu suspenso. À direita os gráficos com informações relacionadas à camada selecionada e a região de navegação do mapa.

O menu principal contém uma breve descrição da ferramenta e indica o ícone a ser clicado para o acesso às informações adicionais e aos termos de uso da aplicação. Logo abaixo estão disponíveis as opções de seleção do nível de regionalização e do ano de análise, as opções de seleção de camadas de informação com as legendas e dados auxiliares, além das opções de download da imagem que está em tela ou da série completa via protocolo http (Figura 3.3.2.a.2).

O menu suspenso contém um botão de mudança de idioma (português/inglês), os botões de zoom in/zoom out do mapa e uma série de botões para acessar as demais ferramentas contidas na aplicação (Figura 3.3.2.a.3).

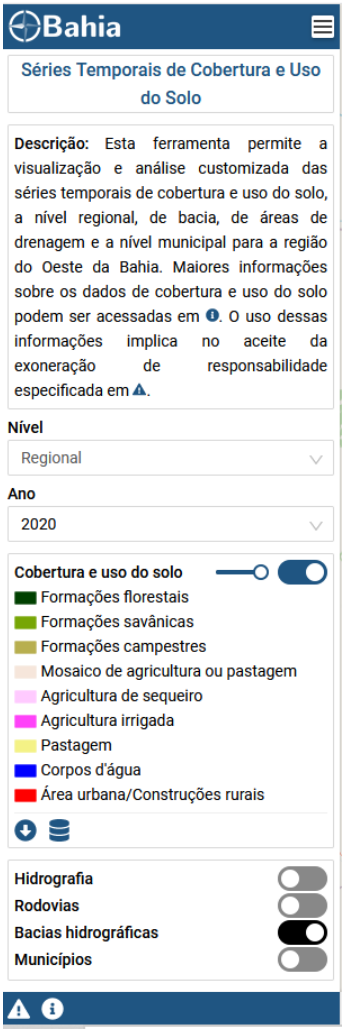

Figura 3.3.2.a.2 - Menu principal da aplicação. De cima para baixo se encontram o título da aplicação, uma breve descrição da aplicação, as opções de seleção de nível de regionalização e ano de análise, as opções da camada de informação com legenda e botões de download, as opções de camadas auxiliares e no final, os botões de informações adicionais e termos de uso.

(Figura 3.3.2.a.3) Menu suspenso da aplicação. De cima para baixo se encontram o botão de mudança de idioma, os botões de zoom in/zoom out e a série de botões para o acesso às demais aplicações do projeto.

A aplicação permite a avaliação espaço-temporal georreferenciada das séries de dados históricos em quatro níveis (regional, bacia hidrográfica, área de drenagem e município) onde o usuário poderá escolher a informação, o nível de recorte e o ano desejado para sua análise (Figura 3.3.2.a.4).

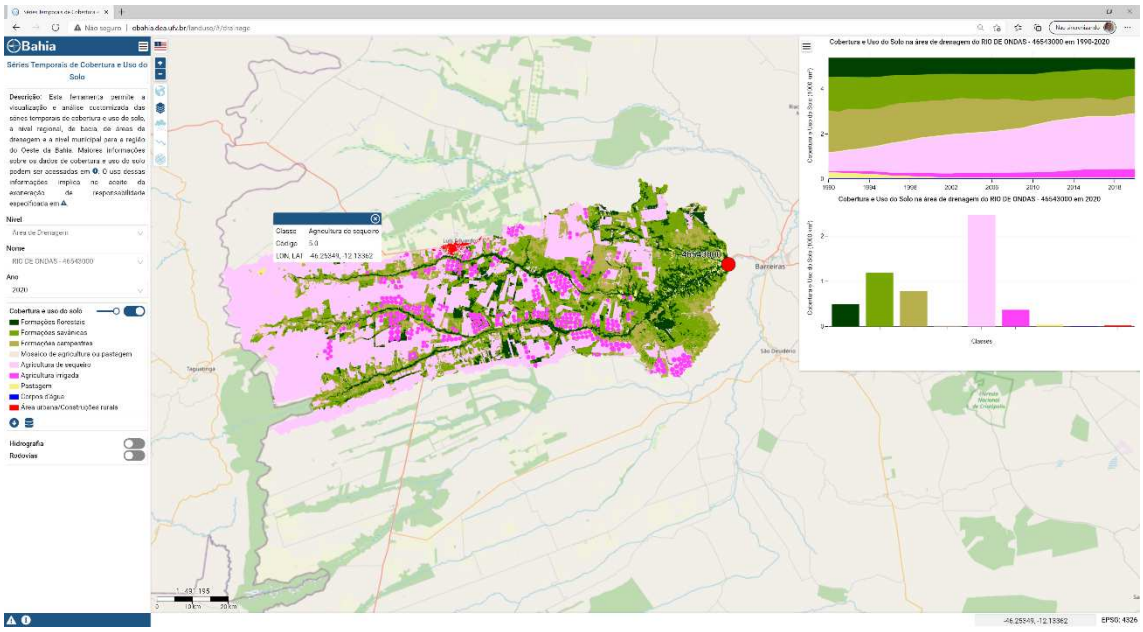

Figura 3.3.2.a.4 - Exemplo da aplicação mostrando a análise para o nível de área de drenagem para a região do Rio de Ondas – 46543000. Os gráficos e o mapa são alterados sempre que o usuário escolhe uma nova área a ser analisada ou modifica o ano de análise. Ao clicar no mapa a aplicação retorna um pequeno menu flutuante com as informações do pixel.

O usuário pode navegar e clicar nos mapas para obter informações ao nível do pixel, selecionar camadas com informações auxiliares disponíveis na ferramenta, ligar/desligar camadas, alterar o nível de transparência das camadas e fazer o download dos dados. Também é possível navegar pelos gráficos passando o mouse sobre a informação, dar zoom em uma região específica do gráfico e fazer o download do mesmo. A navegação para outras ferramentas da plataforma pode ser feita por meio de um menu suspenso disponível na ferramenta (Figura 3.2.2.a.3 e Figura 3.2.2.a.4).

(i) Séries históricas anuais dos mapas de uso e cobertura do solo

A série histórica de mapas de uso e cobertura do solo para a região do Oeste da Bahia foi desenvolvida utilizando métodos de aprendizado de máquina e computação em nuvem (Pimenta et al. 2021) A resolução temporal da classificação é anual, compreendendo o período de 1990 a 2020, com resolução espacial de 30 metros e contendo as seguintes classes temáticas: formações florestais, formações savânicas, formações campestres, mosaico de agricultura ou pastagem, agricultura de sequeiro, agricultura irrigada, corpos d'água e áreas urbanas/construções rurais.

Os dados estão disponíveis no servidor de mapas da plataforma OBahia – Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia (http://obahia.dea.ufv.br/landuse/).

(ii) Séries históricas anuais dos estoques de carbono

Esta atividade teve como objetivo revisar a metodologia da última etapa do projeto anteriormente relacionada à simulação a reconstrução histórica dos estoques de carbono no Oeste da Bahia através do modelo WBCM (*Western Bahia Carbon Model*). O primeiro passo na revisão da reconstrução de carbono foi reavaliar todos os dados de entrada do modelo WBCM: valores de biomassa acima do solo (*Above Ground Biomass* – AGB), e biomassa abaixo do solo (*Belowground Biomass* – BGB) utilizados na elaboração dos mapas iniciais de 1990. Na etapa anterior estavam sendo utilizados valores de AGB e BGB para diferentes tipos de fisionomias obtidos por sensoriamento remoto e literatura que não forneciam valores de incerteza (máximo, mínimo e desvio padrão) associados às suas estimativas e em alguns casos eram estimativas de biomassa coletados em regiões com características edafoclimáticas diferentes da região do MATOPIBA.

Um novo levantamento de estudos que estimaram biomassa acima e abaixo do solo somente na região do MATOPIBA foi realizado e excluídas todas as referências de AGB provenientes de sensoriamento remoto. Priorizou-se o uso de estudos que forneciam estimativas de AGB e BGB para o Oeste da Bahia e, quando não disponíveis, utilizamos estudos de áreas próximas ao Cerrado regional. Os novos valores de referência para AGB e BGB, a nova metodologia utilizada e a discussão dos resultados de estoque de carbono são apresentadas no artigo científico "*Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier*" (Dionizio et al., 2020).

Ao todo foram produzidos 87 mapas anuais de AGB, BGB e SCS (*Soil Carbon Stock* – Estoque de Carbono no Solo) referentes ao período 1990 a 2018. O desenvolvimento das séries históricas anuais de estoques de carbono mostrou que as mudanças no uso da terra causaram perda de 5,28% (61,9 Tg-C) do estoque total de carbono no Oeste da Bahia entre os períodos 1990–1996 e 2011–2018, embora este resultado não tenha sido estatisticamente significativo (Dionizio et al., 2020). Essa mudança está fortemente associada às mudanças no uso da terra ocorridas de 1990 a 2018, incluindo o aumento de áreas de pastagem em 40%, agricultura de sequeiro em 265% e áreas irrigadas em 1000%. Os solos aparecem como principal contribuinte para as perdas totais de carbono, perdendo 48,8 Tg-C, seguidos por perdas de BGB (9,37 Tg-C) e AGB (3,70 Tg-C). O estudo também mostrou que há necessidade de se implementar um monitoramento dos estoques de carbono ao longo do tempo para reduzir a incerteza tanto das medições do balanço de carbono, quanto da modelagem realizada na reconstrução temporal dos estoques de carbono. Todas as séries históricas anuais dos estoques de carbono desenvolvidas neste projeto e utilizadas no estudo de Dionizio et al. (2020) estão disponíveis para visualização e download na plataforma OBahia (Figura 3.3.2.a.5).

Além da necessidade de um monitoramento dos estoques de carbono para reduzir as incertezas das estimativas, recomenda-se a manutenção da cobertura florestal natural e o incentivo ao uso de práticas de manejo sustentável para aumentar e manter os estoques de carbono do solo, especialmente em pastagens.

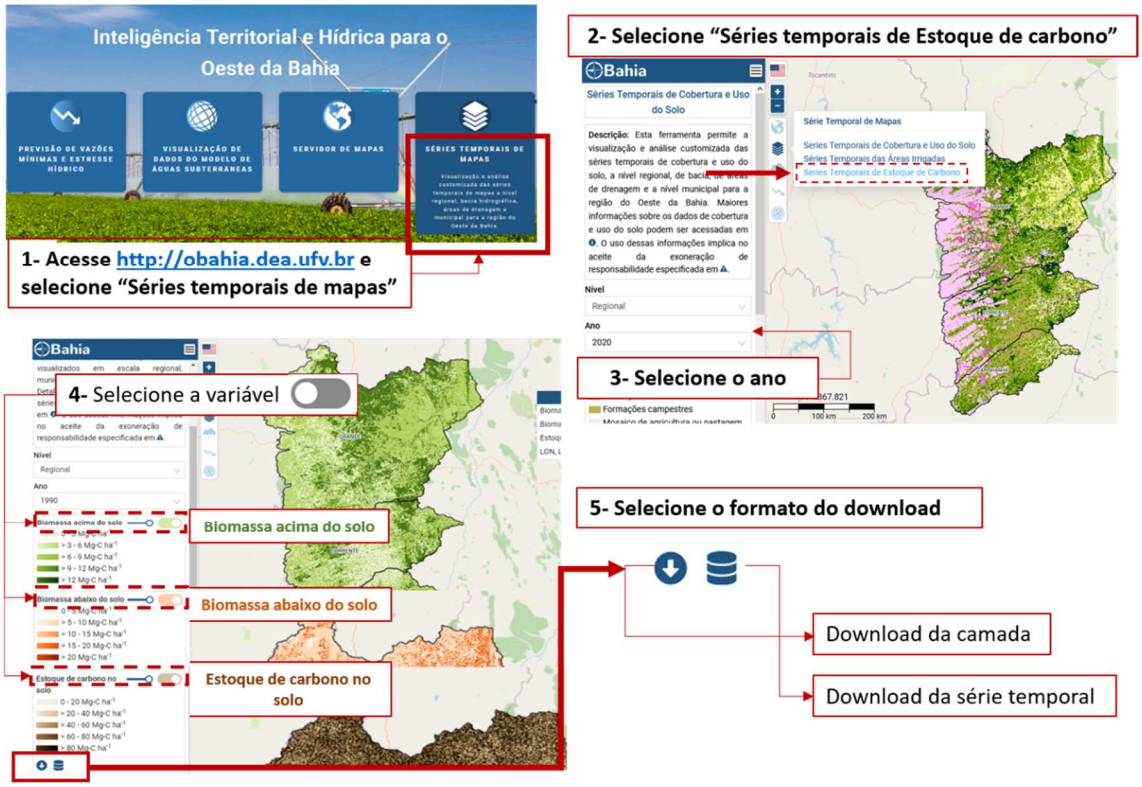

Figura 3.3.2.a.5 - Diagrama ilustrativo das etapas necessárias para visualização e download dos mapas e séries de carbono desenvolvidas neste projeto.

(iii) Séries históricas mensais dos mapas de área efetivamente irrigada, evapotranspiração real, vazão de irrigação e lâmina irrigada para o período de 2001 a 2020

Esta nova ferramenta permite a visualização da classificação de pivôs irrigados e não irrigados, da evapotranspiração real (mm.mês^{-1}) e da lâmina de irrigação aplicada em cada pivô (mm.mês^{-1}) (Figura 3.3.2.a.6).

Conforme descrito nas Seções 3.3.1b e 3.3.1c, a classificação dos pivôs em irrigado e não irrigado foi feita utilizando o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). Inicialmente, imagens Landsat 5, 7 e 8 foram usadas para calcular o NDVI através da seleção das bandas do vermelho e infravermelho próximo. Em seguida, foi utilizado o produto MODIS MOD13Q1 NDVI Versão 6 para o preenchimento dos pixels ausentes afetados por nuvens ou sombras de nuvens. Para a determinação do limite de NDVI que diferencia o pixel em presença e ausência de cultura, foram analisados dados de campo de 69 pivôs centrais localizados na região durante os anos de 2017 e 2018. Os dados de campo de pivô utilizados foram fornecidos pela plataforma Irriger Connect. De acordo com o comportamento do NDVI presente nesses pivôs, foi definido o valor de NDVI de 0,25 como limiar. Assim, o limite foi aplicado em todas as composições mensais feitas com imagens Landsat e MODIS para o período de 2001 a 2020. Os pixels com valores superiores a este limite foram classificados como pixels irrigados e pixels com valores inferiores como não irrigados.

A lâmina irrigada (mm/mês) e vazão de irrigação (m³/s) foram obtidas a partir de um balanço hídrico que considerou as entradas e saídas de água no pivô e um coeficiente de eficiência da irrigação. Como entrada de água foi utilizada a precipitação do TRMM ("*Tropical Rainfall Measuring Mission*") e como saída, a evapotranspiração real do MODIS (produto MOD16A2 Versão 6 Evapotranspiração/Fluxo de Calor Latente). O algoritmo utilizado para a

obtenção do produto MOD16A2 é baseado na lógica da equação de Penman-Monteith, e inclui dados de reanálise meteorológica diária e dados de sensoriamento remoto MODIS, como propriedades ópticas de vegetação dinâmica, albedo e cobertura da terra. Além disso, dados de campo de evapotranspiração real foram usados para calibrar a evapotranspiração do MODIS, fornecidos pela plataforma Irriger Connect e incluem valores de evapotranspiração real diária de 69 pivôs centrais durante os anos de 2017 e 2018 (um total de 338 pivôs-meses de dados, com uma média de 4,9 meses por pivô).

Na ferramenta de Séries Temporais de Mapas de Área Irrigada, além de acessar os mapas das variáveis de interesse, o usuário poderá visualizar um gráfico com a evolução temporal da lâmina irrigada (mm.mês^{-1}), vazão de irrigação (m^3.s^{-1}), área efetivamente irrigada (ha) e evapotranspiração real (mm.mês^{-1}) (destacado na parte superior da página inicial, Figura 3.3.2.a.6). Especificamente, a partir do menu principal da ferramenta o usuário pode customizar espacialmente (nível regional, de bacia, área de drenagem e municípios) e temporalmente (toda a série temporal – 2001 a 2020, últimos 12, 6 ou 3 meses) sua análise e interesse. Além disso, é possível realizar o download das camadas mostradas.

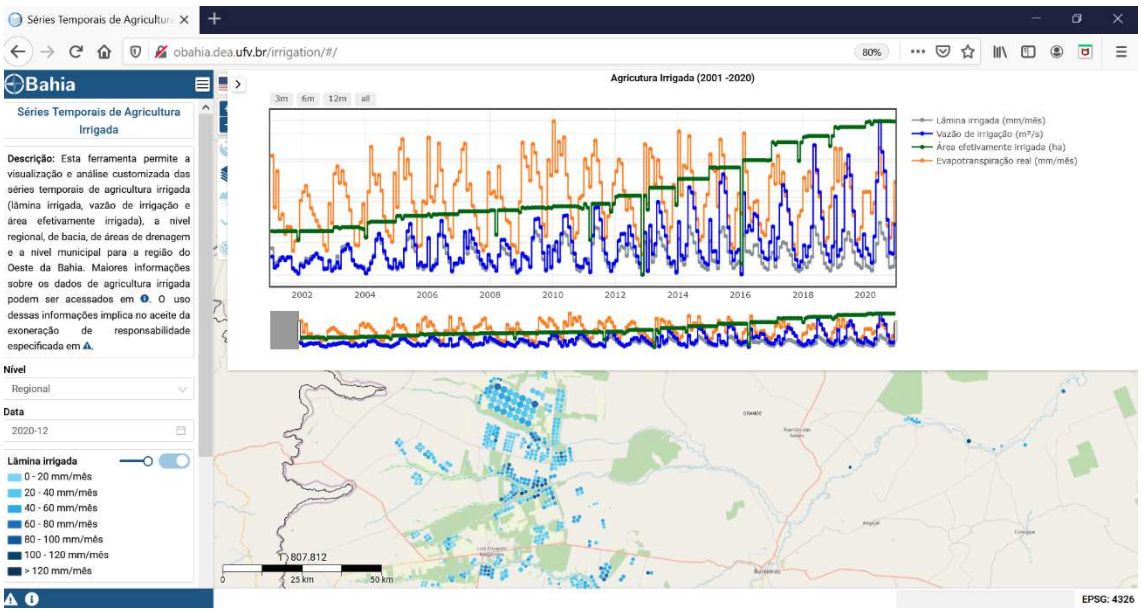

Figura 3.3.2.a.6 - Tela inicial da ferramenta de séries temporais de agricultura irrigada para Oeste da Bahia, com informações de lâmina irrigada em cada pivô (mm.mês-1) no mês de dezembro de 2020.

A ferramenta de séries temporais da agricultura irrigada se configura como um pioneiro diagnóstico e monitoramento do uso da água para irrigação em escala de bacia hidrográfica na região. As estimativas de uso da água para irrigação através de dados de sensoriamento remoto, combinada com medidas de monitoramento hidrometeorológico em campo (estações fluviométricas da ANA), permite uma avaliação de sala de situação em tempo quase real, mesmo na ausência de informações de todos os pontos de captação de água para este fim. Estes produtos são fundamentais para o gerenciamento de recursos hídricos no Oeste da Bahia, em especial para bacias pequenas em com ausência de dados.

A metodologia detalhada dos procedimentos e maiores informações estão disponíveis em Santos et al. (2020) e na seção 3.3.1 deste relatório. As séries históricas de mapas de área

efetivamente irrigada, demanda evapotranspirométrica e lâmina irrigada em cada pivô para a região do Oeste da Bahia podem ser acessadas na ferramenta de séries temporais da plataforma OBahia – Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia através do link http://obahia.dea.ufv.br/irrigation/.

(iv) Séries históricas mensais de mapas de precipitação para o período de 2000 a 2020 à resolução de 28 km

A série histórica de precipitação para o período de 2000 a 2020 foi obtida das missões TRMM (*The Tropical Rainfall Measuring Mission*) e GPM (*Global Precipitaion Measurements*) por meio do download automatizado de dados via protocolo FTP em linguagem Python a partir da plataforma da NASA (https://gpm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm). Os dados representam a precipitação anual (mm) na resolução aproximada de 28x28 km, foram tratados e recortados para a região do Oeste da Bahia e estão disponíveis no servidor de mapas da plataforma OBahia (http://obahia.dea.ufv.br), selecionando-se a ferramenta "Servidor de Mapas", e em seguida, no menu à esquerda, "Produtos de terceiros/Precipitação total anual" e o mapa relativo ao ano de interesse.

(v) Séries históricas mensais dos mapas de variação relativa da água subterrânea para o período de 2003 a 2017, à resolução de 100 km x 100 km

A série histórica dos mapas de variação da espessura de massa de água para o período 2002 a 2017 foi obtida da missão GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) da NASA (https://podaac.jpl.nasa.gov/datasetlist?search=grace%20csr), por meio do download automático via protocolo FTP utilizando a linguagem Python.

Os dados representam a anomalia do nível de água (m) na resolução aproximada de 100x100 km, foram tratados e recortados para a região do Oeste da Bahia e estão disponíveis servidor de mapas da plataforma OBahia (http://obahia.dea.ufv.br), selecionando-se a ferramenta "Servidor de Mapas", e em seguida, no menu à esquerda, "Produtos de terceiros/Anomalia do nível de água subterrânea" e o mapa relativo ao ano de interesse. A série se encerra em 2017, quando o satélite GRACE parou de funcionar.

(b) Novo módulo de visualização online da previsão climática do início da estação chuvosa para a região oeste da Bahia, conforme produzido pelo Climate Forecast System do NCEP (National Centers for Environmental Prediction)

Esta nova ferramenta permite a visualização customizada da previsão do início das chuvas para o Oeste da Bahia conforme previsto pelo sistema de previsão climática CFSv2 (*Climate Forecast System Version 2*) do NCEP/NOAA, com resolução espacial aproximada de 28 km x 28 km. A comparação das previsões fornecidas pelo CFSv2 com os produtos de precipitação TRMM 3B42 e PERSIANN indicou que, com 2 meses de antecedência, o modelo apresenta um erro médio de previsão de início da estação chuvosa entre 15 a 20 dias, embora em anos de El Niño este erro seja de 2 a 8 dias maior. Os erros tendem a ser menores do lado oeste (fronteira com Tocantins e Goiás) do que do lado leste da região (próximo ao Rio São Francisco).

A ferramenta está disponível em http://obahia.dea.ufv.br/onset/ (Figura 3.3.2.b.1) e apresenta duas previsões anuais: uma inicializada no início de agosto (03/08) e uma atualização no início de setembro (03/09). Em qualquer caso, as previsões inicializadas em 1° de setembro

devem ser mais precisas do que as previsões inicializadas em 3 de agosto. Ao navegar na ferramenta e ao clicar sobre uma localidade, o usuário consegue visualizar a previsão de início da estação chuvosa para a coordenada geográfica de interesse e a estimativa do erro associado à previsão. A ferramenta permite a sobreposição de camadas de hidrografia, rodovias, bacias hidrográficas e municípios para toda a região. O usuário pode ainda realizar o *download* da camada com a previsão de início da estação chuvosa, o que possibilita a análise de dados *offline*.

Esta ferramenta de previsão hidroclimática tem a capacidade de dar suporte à tomada de decisão, tanto de agricultores quanto do poder público da região do Oeste da Bahia, gerando a possibilidade de redução de custos em produção, redução de conflitos por abastecimento e melhor aproveitamentos dos recursos naturais. O sistema de previsão de início da estação chuvosa tem ainda elevado grau de importância devido aos impactos que mecanismos de larga escala e as mudanças climáticas podem causar no início e/ou duração da estação chuvosa.

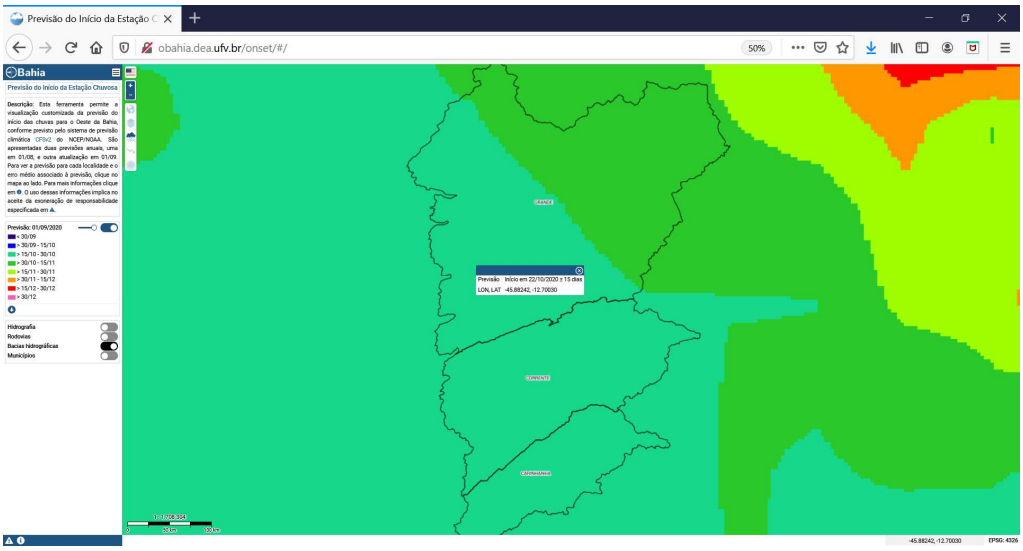

Figura 3.3.2.b.1 - Tela inicial da ferramenta de previsão do início da estação chuvosa para o Oeste da Bahia, com a previsão para o ano de 2020.

A ferramenta passou por atualizações durante o último ano de execução do projeto. Primeiramente, o processamento de dados das atualizações anuais de previsão do início da estação chuvosa (download, cálculos, conversão de unidades e formatos) foram automatizados para ocorrer de forma programada na plataforma no momento da atualização anual. Essas atualizações automáticas já foram testadas em 2020 e 2021, estando funcionado corretamente. Além disso, a forma de visualização das datas de previsão do início da estação chuvosa foi modificada para o formato *raster* e o valor do erro médio absoluto (MAE) foi recalculado para corresponder à data da previsão retornada com o clique do mouse.

(c) Novo módulo de visualização online de previsão hidroclimática

Esta ferramenta permite a visualização customizada de previsão de vazões mínimas anuais (realizadas para o período de abril a outubro, período seco na região) e o status de estresse hídrico das bacias para o ano em questão. As previsões são baseadas em modelagem a partir de dados de estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) entre os anos de 1978-2017 e são realizadas apenas para as estações que contém transmissão automática de dados por telemetria. A ferramenta está disponível em http://obahia.dea.ufv.br/stream.

As previsões são apresentadas para as estações com telemetria nas bacias do Rio Grande e Rio Corrente, e possibilitam gerar previsões em tempo quase-real, iniciando nos meses de abril (previsão atualizada em 01/05), maio e junho (previsão atualizada em 01/06 e 01/07). Além da previsão, também é apresentado um índice de stress hídrico da bacia à montante da estação (Figura 3.3.2.c.1). A vazão mínima prevista (Q_{min}) é comparada à vazão superficial outorgada a montante (Q_{sup}). O estresse hídrico da bacia é determinado em função das relações abaixo:

- se $Q_{sup} \leq 0{,}7Q_{min}$, o estresse hídrico previsto é baixo;
- se $0{,}7Q_{min} < Q_{sup} \leq Q_{min}$, o estresse hídrico é moderado (estado de atenção);
- se $Q_{sup} \geq Q_{min}$, o estresse hídrico previsto é alto, e medidas de redução de demanda podem ser necessárias.

Com esse sistema de previsão, é possível tomar decisões sobre o uso de irrigação a partir de 01/05, evitando possíveis situações de insegurança hídrica nos casos de estresse hídrico alto. O funcionamento desse sistema está condicionado ao funcionamento das estações automáticas da ANA, e os dados enviados devem passar os testes internos de consistência que fazemos, para evitar o uso de dados incorretos. Caso os dados estejam disponíveis e consistentes, a estação é representada por um círculo azul. Caso contrário, a estação é representada por um círculo de cor cinza, e não é feita a previsão.

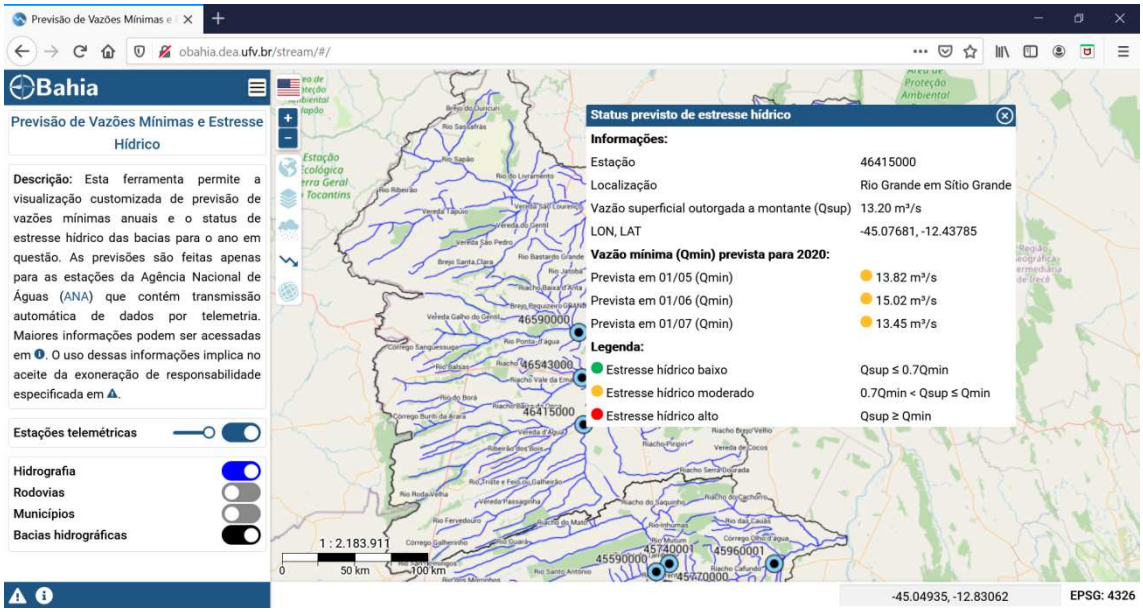

Figura 3.3.2.c.1 - Previsão de vazão mínima e status de estresse hídrico em 2020 para a estação 46415000.

3.3.3 Desenvolvimento de Ferramentas de Inteligência Territorial

(a) Ferramentas de análise territorial disponibilizadas para as partes interessadas no desenvolvimento regional

Como descrito nos itens anteriores, as ferramentas de inteligência territorial disponíveis na plataforma OBahia estão divididas em: visualização de séries temporais, previsão do início da estação chuvosa, previsão de vazões mínimas e estresse hídrico e a visualização de dados do modelo de águas subterrâneas.

Mais especificamente, a ferramenta de visualização de séries temporais possibilita que o usuário realize, de acordo com seu interesse, a análise dos dados de cobertura e uso do solo, das áreas irrigadas e do estoque de carbono para a região do Oeste da Bahia em quatro níveis de recorte: regional, por bacia hidrográfica, por área de drenagem e por município. Em cada um desses recortes, o usuário pode visualizar por meio de gráficos e mapas as mudanças das variáveis de interesse ao longo do tempo (1990 a 2020). No nível regional o recorte e posterior análise dos totais de cada variável são realizados para toda a região do Oeste da Bahia. Já no nível de bacia hidrográfica é possível escolher entre as três principais bacias da região (Rio Grande, Rio Corrente e Rio Carinhanha) para realizar a análise das mudanças temporais nas variáveis de interesse. Da mesma forma, no nível de área de drenagem é possível escolher entre 26 áreas de drenagem distintas dentro da região do Oeste da Bahia para gerar gráficos e mapas da evolução temporal das variáveis de interesse. No nível de município é possível escolher entre 19 municípios distintos para a realização das mesmas análises.

Um exemplo de recorte municipal é apresentado na Figura 3.3.3.a.1, em que é mostrada a evolução da cobertura e uso do solo para o município de Barreiras.

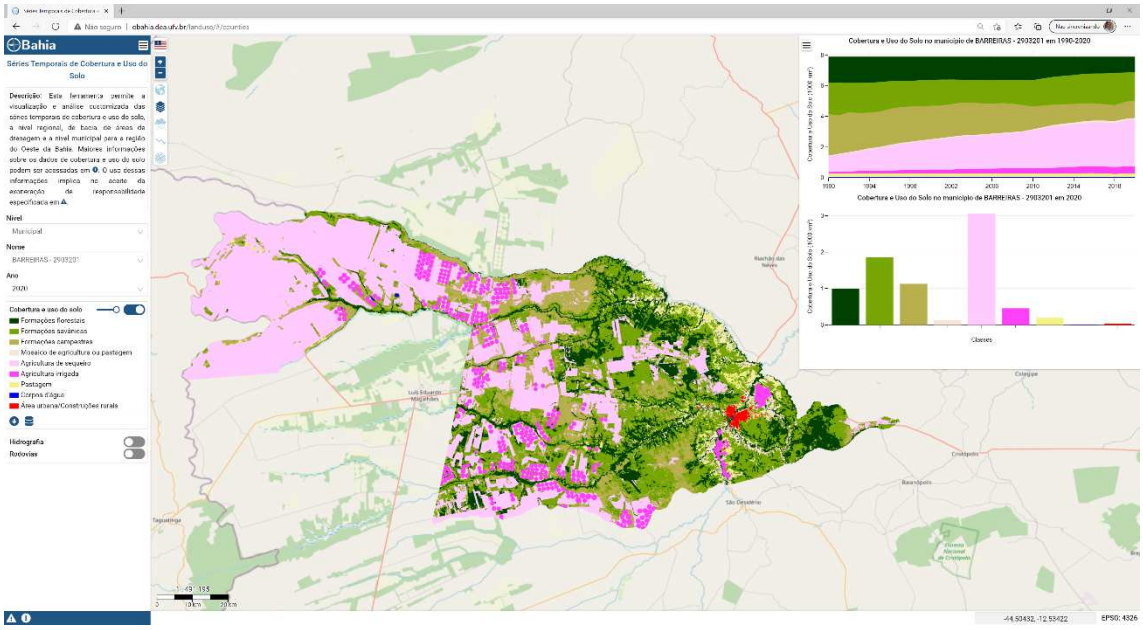

Figura 3.3.3.a.1 - Ferramenta de visualização de séries temporais. O exemplo mostra o município de Barreiras para uma análise da cobertura e uso do solo, bem como os gráficos com as informações relacionadas à cobertura e uso do solo do município para o ano de 2020.

As ferramentas de visualização de séries temporais, previsão do início da estação chuvosa, previsão de vazões mínimas e estresse hídrico já foram apresentadas em itens anteriores deste relatório (3.3.2.a, 3.3.2.b e 3.3.2.c, respectivamente). Já a ferramenta de visualização de dados do modelo de águas subterrâneas permite a visualização customizada dos dados de elevação, espessura e carga hidráulica, provenientes dos resultados do modelo de águas subterrâneas (MODFLOW) desenvolvido para as bacias do Alto e Médio Rio Grande, Rio Corrente e Rio Carinhanha. Nesta aplicação é possível avaliar a situação da carga hidráulica e a espessura do aquífero separadamente para cada bacia, ao mesmo tempo que é possível avaliar o balanço hídrico em relação ao armazenamento, potencial hidráulico, vazão e recarga (Figura 3.3.3.a.4).

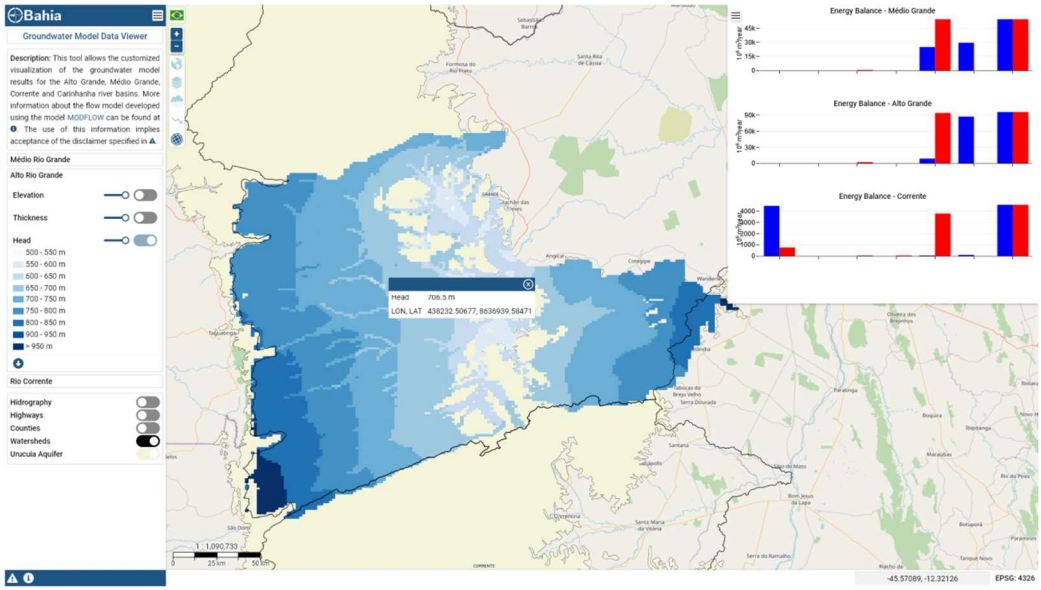

Figura 3.3.3.a.4 - Ferramenta para visualização de dados do modelo de águas subterrâneas. O exemplo mostra os dados de carga hidráulica para a região da bacia do Médio Grande. Ao se clicar no mapa é retornada uma caixa de diálogo com os dados da camada selecionada e as coordenadas em UTM. No lado superior direito se encontram os gráficos com os dados relacionados ao balanço de energia.

(b) Camadas de dados disponibilizadas para visualização e operação pelas ferramentas de análise territorial.

As principais camadas de dados disponibilizadas para a visualização e operação pelas ferramentas de análise territorial foram apresentadas nos itens anteriores e estão listadas a seguir:

- Cobertura e uso do solo;
- Agricultura irrigada;
- Biomassa acima do solo;
- Biomassa abaixo do solo;
- Estoque de carbono no solo;
- Previsão do início da estação chuvosa;
- Previsão de vazões mínimas para especificas;
- Modelo digital de elevação do aquífero;
- Espessura do aquífero;
- Carga hidráulica do aquífero.

Ainda, há camadas auxiliares que contribuem para a caracterização da região:

- Hidrografia;
- Rodovias;
- Bacias hidrográficas;

- Municípios;
- Aquífero Urucuia.

(c) Estudos de caso (análise de cenários) para o desenvolvimento regional: I – Evolução do uso do solo no Oeste da Bahia e aptidão agrícola para a expansão da agricultura de sequeiro.

A cobertura e uso do solo do Oeste da Bahia têm mudado ao longo do tempo, de forma que as áreas agrícolas expandiram de 1,97 Mha em 1990 para 5,14 Mha em 2020. Este crescimento das áreas agrícolas ocasionou uma diminuição das áreas de vegetação nativa de 3,13 Mha, a partir de um total de 11 Mha em 1990 para 7,87 Mha em 2020 (Figura 3.3.3.c.1).

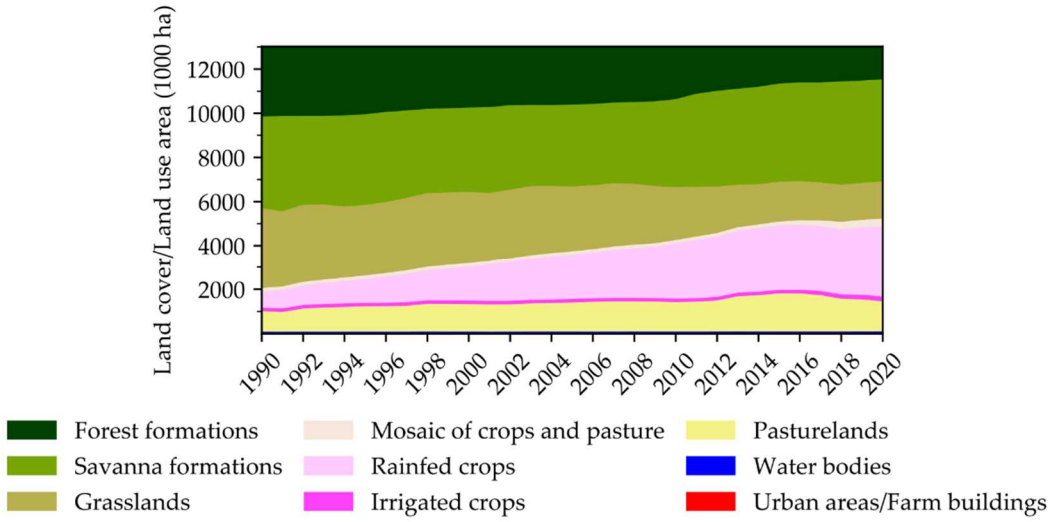

Figura 3.3.3.c.1 - Evolução da cobertura e uso do solo na região do Oeste da Bahia. A baixa proporção de áreas de corpos d'água e áreas urbanas em relação às demais áreas faz com que não seja possível visualizar essas classes no gráfico.

Para avaliar como poderá ocorrer o desenvolvimento futuro regional foi realizada uma análise que considerou as mudanças históricas da cobertura e uso do solo e a aptidão agrícola para a expansão da agricultura na região, levando-se em conta o aumento da produção agrícola e a preservação ambiental.

A aptidão agrícola da região foi caracterizada por meio de três critérios (1 – percentual de anos em que a chuva durou pelo menos 120 dias; 2 – cobertura e o uso do solo, 3 – declividade) que foram submetidos a uma análise espacial de decisão onde se verificou a importância de cada critério (Franek e Kresta, 2014; Romano et al., 2015). Essas importâncias foram utilizadas para fazer uma média ponderada ordenada (Yager e Kacprzyk, 1997; Yager, 1988; Yager, 1997) que resultou nos mapas de aptidão agrícola da região. Posteriormente foram avaliadas as aptidões para a agricultura, pastagem e para a vegetação nativa, desconsiderando as áreas restritas (áreas de preservação permanente, reserva legal, unidades de conservação integral, áreas urbanas e corpos d'água). A análise dos padrões espaciais das áreas cultivadas nas classes de aptidão indicaram que as terras agrícolas e pastagens dominaram a maior parte das áreas com boa aptidão em 1990 (compare os tons de verde escuro na Figura 3.3.3.c.2(a) com os tons de azul escuro na Figura 3.3.3.c.2.(b)).

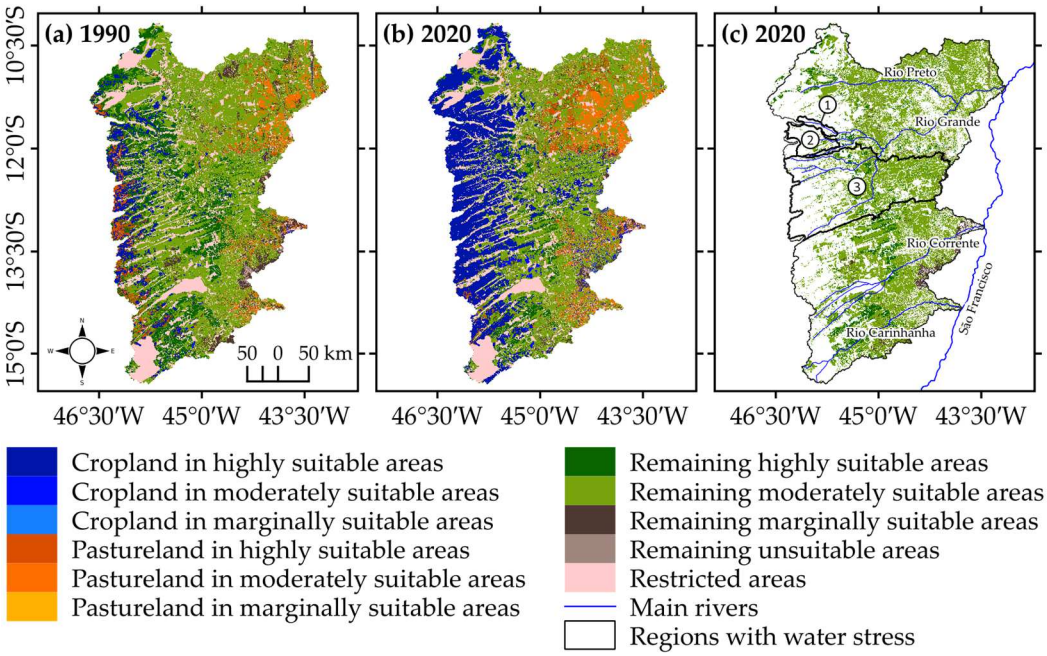

Figura 3.3.3.c.2 - Aptidão agrícola para agricultura, pastagem e remanescentes de vegetação nativa em (a) 1990 e (b) 2020. Os tons de azul são as aptidões para a agricultura, os tons de laranja são as aptidões para a pastagem e os tons de verde e marrom as aptidões em remanescentes de vegetação nativa. As áreas em rosa são as áreas restritas (áreas de preservação permanente, reserva legal, unidades de conservação integral). (c) Sobreposição das áreas disponíveis para expansão, mostrando regiões com alto estresse hídrico: (1) bacia do Rio Branco, (2) bacia do Rio de Janeiro e (3) bacia do Rio Grande.

A evolução do uso da terra no Oeste da Bahia segue dois padrões. Em primeiro lugar, as terras cultiváveis se estabeleceram principalmente nas áreas planas, chuvosas e com boa aptidão agrícola do extremo oeste da região e, nos anos posteriores, expandiram-se um tanto linearmente, com expansão subsequente em áreas de aptidão regular. As pastagens ocupam outras áreas com aptidão regular e restrita. Esta expansão linear durou até cerca de 2012–2013. O segundo padrão principal foi a expansão da agricultura irrigada. A localização da região no topo do aquífero Urucuia, a disponibilidade de vastos recursos hídricos superficiais e a topografia plana promoveram essa expansão. Enquanto a tendência nas áreas de cultivo de sequeiro aumentou até 2012 e quase se estabilizou depois disso (Figura 3.3.3-c.3.(a)), a taxa de expansão da irrigação depois de 2011 foi cerca de três vezes maior do que a taxa antes de 2010, ocorrendo principalmente em áreas de aptidão boa e regular (Figura 3.3.3.c.3.(b)).

O aumento dos investimentos em irrigação neste período também pode ter sido incentivado pela Política Nacional de Irrigação de 2013 (Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013), que previu diversos incentivos para a expansão da área irrigada nacionalmente, incluindo taxas subsidiadas sobre empréstimos e tarifas reduzidas de energia elétrica para projetos de irrigação. Embora as restrições do Código Florestal possam ter limitado ou pelo menos desencorajado a extensificação para novas terras aptas, o aumento da frequência de cultivo por meio da irrigação manteve as tendências crescentes na produção agrícola total da região. Para ter certeza, essas mudanças nos últimos dez anos aconteceram enquanto havia abundância de terras moderadamente aptas para expansão (5,00 Mha, Figura 3.3.3.c.5).

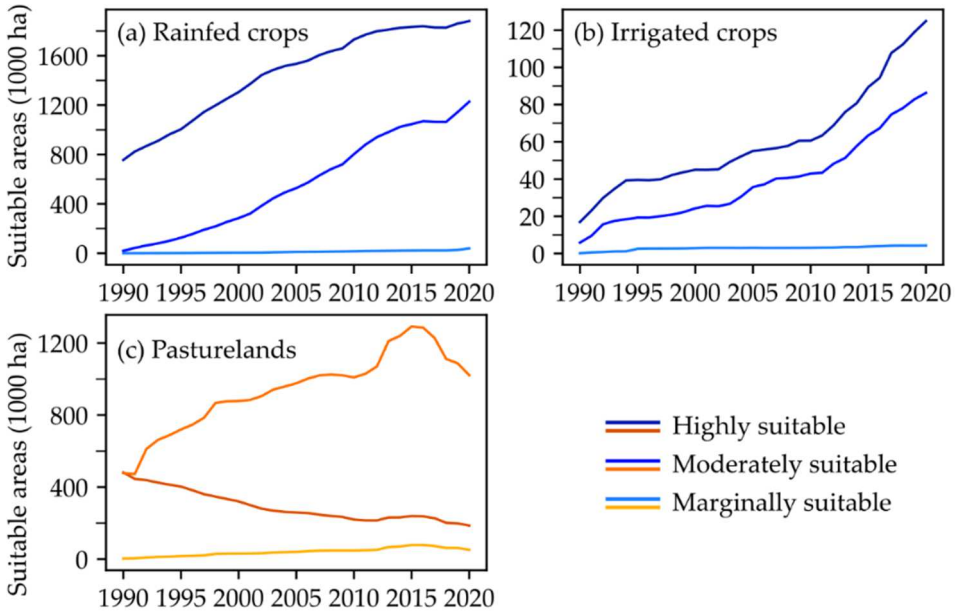

Figura 3.3.3.c.3 - Expansão da agricultura de acordo com as classes de aptidão e a cobertura e uso do solo em 2020. (a) Agricultura de sequeiro, (b) agricultura irrigada e (c) pastagens.

Algumas áreas com boa aptidão inicialmente utilizadas como pastagens foram convertidas em terras agrícolas ao longo dos anos, por exemplo, no extremo oeste em torno de 13°S. Em 1990, a maioria das áreas de vegetação natural foram classificadas como áreas com aptidão regular e restrita que foram subsequentemente convertidas em cultivo ou pastagem ao longo do tempo (Figura 3.3.3.c.4). As pastagens se expandiram em áreas de aptidão regular (Figura 3.3.3.c.4) e diminuíram em áreas com boa aptidão, indicando que os agricultores substituíram as pastagens localizadas em áreas com boa aptidão por terras cultivadas (Figura 3.3.3.c.4).

A subsequente desaceleração na tendência de extensificação ocorreu devido a uma combinação de uma escassez de áreas com alta aptidão (apenas 0,657 Mha, Figura 3.3.3.c.4) e a aprovação do novo Código Florestal Brasileiro em 2012. Por outro lado, uma grande área com aptidão moderada permanece disponível (5,00 Mha, Figura 3.3.3.c.4), mas os agricultores claramente preferem expandir a produção aumentando a área irrigada (Figura 3.3.3.c.4).

Na região do Oeste da Bahia, a transição entre as diferentes classes de uso e cobertura do solo seguiu diferentes caminhos e foi fortemente influenciada pela aptidão da terra, pelo Código Florestal Brasileiro de 2012 e pelo aumento de incentivos em irrigação previstos no Política Nacional de Irrigação de 2013 (Lei 12.787 de 11 de janeiro de 2013). Mesmo considerando as restrições de conservação, a área agrícola poderia quase dobrar na região, com a expansão ocorrendo principalmente em áreas classificadas com aptidão regular para a agricultura, sujeitas a riscos climáticos, quando utilizadas para agricultura de sequeiro, mas aptas para pastagens e agricultura irrigada.

A expansão da fronteira agrícola e a irrigação em áreas com aptidão boa e regular aumentaram a importância nacional e internacional do Oeste da Bahia. A maioria das terras com boa aptidão já está sendo usada para agricultura - principalmente como áreas de cultivo altamente produtivas, como soja e algodão. Em resposta à escassez de terras com boa aptidão e às limitações impostas pelo novo Código Florestal, os agricultores investiram na intensificação de áreas agrícolas por meio de investimentos em sistemas de irrigação, que aumentaram a produção, simplificaram a logística individual e reduziram o desmatamento.

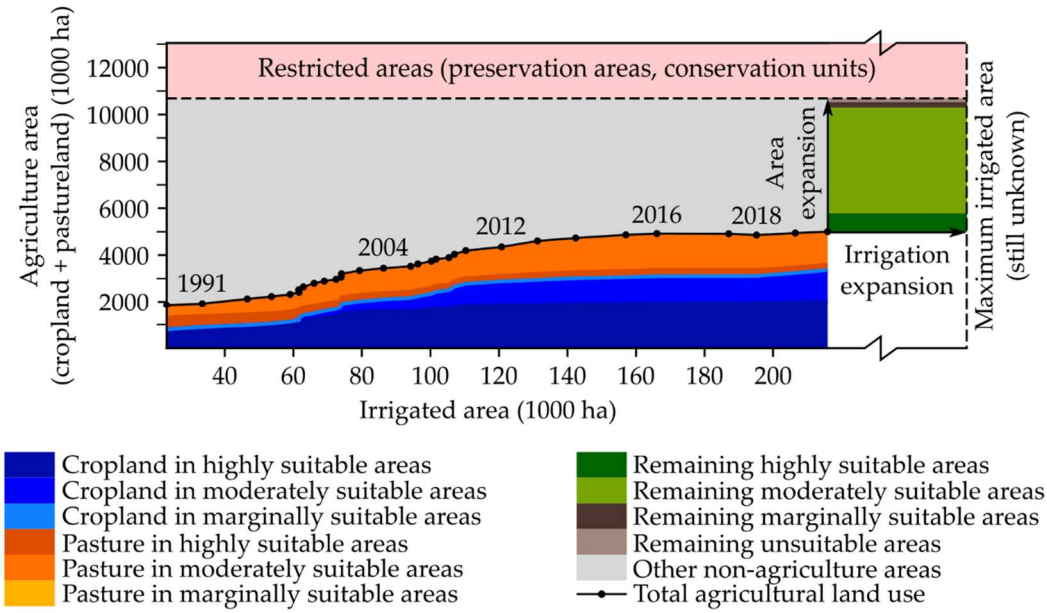

Figura 3.3.3.c.4 - Expansão histórica da aptidão agrícola em função da expansão da irrigação. Os tons de azul são as aptidões para a agricultura, os tons de laranja são as aptidões para a pastagem e os tons de verde e marrom as aptidões em remanescentes de vegetação nativa. As áreas em rosa são as áreas restritas (áreas de preservação permanente, reserva legal, unidades de conservação integral).

Supondo que as tendências futuras sigam as tendências dos últimos dez anos (2011–2020), as principais estratégias para manter o foco regional na produção agrícola serão o aumento da irrigação e a conversão dos poucos pastos em terras com boa aptidão em áreas agrícolas. Ao mesmo tempo, as pastagens podem se expandir sobre as áreas com aptidão regular restantes. A expansão da irrigação, no entanto, depende da disponibilidade de recursos hídricos e da segurança hídrica efetiva. Partes da região, incluindo a maior parte da bacia do Rio Grande a montante e parte da bacia do Rio Corrente, já estão nos limites do estresse hídrico (Figura 3.3.3.c.4) (Pousa et al. 2019; Santos et al. 2020). Embora tenha sido forte nos últimos dez anos, recomendamos que a expansão futura da irrigação seja precedida por um planejamento e monitoramento cuidadosos para evitar a insegurança hídrica na região.

Maiores detalhes sobre a metodologia de desenvolvimento desta pesquisa podem ser encontrados no artigo *Historical Changes in Land Use and Suitability for Future Agriculture Expansion in Western Bahia, Brazil* (Pimenta et al., 2021). O mapeamento da aptidão agrícola está disponível no Servidor de Mapas da plataforma OBahia, .

(d) Estudos de caso (análise de cenários) para o desenvolvimento regional: II – Análise do potencial de expansão da agricultura irrigada no Oeste da Bahia.

O Estudo de caso I indica que, no período de 2011 a 2020, o uso total de terras para agropecuária mudou pouco no período, com a conversão dos poucos pastos em terras com boa aptidão em áreas de culturas agrícolas, enquanto a área irrigada praticamente dobrou, crescendo à taxa média de 11.000 ha/ano no período. Supondo que as principais estratégias para aumentar a produção agrícola nos próximos anos se mantenham, a disponibilidade de recursos hídricos e a efetiva segurança hídrica serão os principais limitantes para a expansão da irrigação na região.

Neste estudo de caso, usamos dados disponíveis no OBahia e dados das estações fluviométricas da ANA para analisar o potencial de expansão da agricultura irrigada no Oeste da Bahia.

Para a elaboração dos cálculos, foram assumidas as seguintes condições:

a) Vazões bombeadas superficiais e subterrâneas contribuem igualmente para a redução da vazão dos rios, sendo a única diferença o tempo em que o bombeamento levará para causar efeito direto na vazão do rio, podendo variar de instantâneo a alguns anos, dependendo da localização do poço de bombeamento em relação à rede de drenagem. Essa condição é decorrente da forte conexão entre o aquífero e a rede de drenagem, e é uma condição conservadora, ou seja, visa conservar os recursos hídricos pela soma dos usos subterrâneos com os usos superficiais.
b) A vazão do Rio Grande na foz é igual à vazão do Rio Grande em Boqueirão, e ajustada para a área da Bacia do Grande na foz.
c) A vazão do Rio Corrente na foz é igual à vazão do Rio Corrente em Porto Novo, e ajustada para a área da Bacia do Rio Corrente.
d) No caso dos Rios Grande e Corrente, a vazão de outorga utilizada foi 80% Q^*_{90} (rios estaduais) e no caso do Rio Carinhanha, por ser um rio federal, Q^*_{95}. Q^* indica vazão naturalizada. $Q^* = Q + Qi$, sendo Q a vazão do rio no ponto de medição e Qi a vazão estimada de irrigação acumulada à montante do ponto de medição. A naturalização foi feita apenas para o período 2001 a 2020. A série temporal dos valores de Qi estão disponíveis em http://obahia.dea.ufv.br/irrigation/, enquanto mais detalhes da metodologia de naturalização estão disponíveis em Santos et al. (2020).

Além disso, foram considerados dois cenários:

1. Cenário presente (2020): Vazão de outorga calculada de acordo com o período 1978-2020. Esse cenário considera o período de redução de vazões pós-1992 (ver Pousa et al., 2019), incluindo os anos muito secos de 2015 a 2020. Este cenário pode ser considerado como aproximadamente equivalente ao "cenário de escassez" assumido pelos Planos de Bacia do Rio Grande e do Rio Corrente.
2. Cenário futuro: Vazão de outorga reduzida em 20%, assumindo que as reduções de chuvas e vazões que se iniciaram no início dos anos 1990 vão perdurar por mais algumas décadas. Esse cenário pode ser considerado como aproximadamente equivalente ao "cenário de mudança climática" assumido pelos Planos de Bacia do Rio Grande e do Rio Corrente.

Os dados da Tabela 3.3.3.d.1, preparados para 12 estações selecionadas nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha, suportam os dois cenários acima. Em primeiro lugar, há uma clara queda de vazões Q^*_{90} ao longo dos últimos 20 anos, mesmo já considerando a naturalização da vazão, isto é, mesmo retornando aos rios a água retirada para irrigação. A Q^*_{90} tem caído entre 1,2% a cada década (a.d.) no Rio Preto até 15,6% a.d. em parte do Rio Branco, com a maior parte dos trechos analisados variando entre 6% e 8% a.d. Essas tendências (e suas variações espaciais) são justificadas pela redução de precipitação na região, conforme discutido por Pousa et al. (2019). Essas tendências justificam plenamente o cenário futuro de uma queda de 20% no longo prazo (30-40 anos). Combinados, a condição (a) e os cenários 1 e 2 representam critérios bastante conservadores para a outorga de água na região, bem mais conservadores do que os utilizados atualmente. Posteriormente, o efeito da escolha desses cenários será discutido.

Tabela 3.3.3.d.1 - Características principais das 12 bacias de drenagem selecionadas para estudo, e a taxa de queda da Q*90 em função do tempo. (+) A estação de Rio Branco em Savana tem duração de 2003 a 2020.

Rio	Local	Código ANA	Área de drenagem	Vazão naturalizada com 90% de permanência			Tendência de queda	
			Ad	Q^*_{90}			ΔQ^*_{90}/10 anos	
			(km^2)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s/ 10 anos)	(%/ 10 anos)
				1978-2000	1978-2010	1978-2020		
Bacia do Rio Grande								
Rio Grande	Foz	Foz	78.214,6	?	?	?		
Rio Grande	Boqueirão	46902000	65.900,0	215,65	207,99	199,14	-8,26	-3,8%
Rio Preto	Fazenda Porto Limpo	46870000	22.151,0	79,04	77,29	77,21	-0,92	-1,2%
Rio Branco	Nova Vida - montante	46590000	6.918,0	41,47	40,05	38,64	-1,42	-3,4%
Rio Branco (+)	Savana	46784000	685,0	--	10,02	8,56	-1,46	-14,6%
Rio de Janeiro	Ponte Serafim	46570000	2.521,0	8,78	8,36	7,64	-0,57	-6,5%
Rio Grande	Barreiras	46550000	24.495,8	66,89	60,89	57,09	-4,90	-7,3%
Bacia do Rio Corrente								
Rio Corrente	Foz	Foz	34.141,6	?	?	?		
Rio Corrente	Porto Novo	45960001	31.155,7	163,18	152,74	139,87	-11,65	-7,1%
Rio Formoso	Gatos	45840000	7.132,7	64,96	60,88	54,22	-5,37	-8,3%
Rio Arrojado	Arrojado	45770000	5.644,5	49,14	46,17	42,49	-3,33	-6,8%
Rio do Meio	Mocambo	45740001	9.039,3	28,82	27,77	25,46	-1,68	-5,8%
Rio Correntina	Correntina	45590000	3.852,4	26,57	25,14	23,40	-1,58	-6,0%
Bacia do Rio Carinhanha								
R. Carinhanha(&)	Juvenília (Foz)	45260000	15.600,0	–	–	–	–	–
Rio Itaguari	Fazenda Porto Alegre	45170001	5.757,0	51,26	45,84	41,28	-4,99	-9,7%

A Tabela 3.3.3.d.2 mostra o cálculo da vazão de outorga na foz dos Rios Grande e Corrente usando a vazão naturalizada específica q*90, e cálculo da vazão de outorga máxima ($Qout_{max}$). No caso do Rio Carinhanha, consideramos que a estação 45260000 (Rio Carinhanha em Juvenília) está suficientemente próximo à foz para dispensar ajustes.

Para conferência e distribuição espacial dos valores de Q^*_{90}, verifique a plataforma OBahia – https://obahia.dea.ufv.br, clicando em Servidor de Mapas, e em seguida, no menu à esquerda, selecione "Produtos Gerados no Âmbito do Projeto", "Vazão Específica", e "Vazão Específica Q_{90}", desmarcando as outras opções.

Tabela 3.3.3.d.2 - Cálculo da vazão de outorga na foz dos Rios Grande e Corrente usando a vazão naturalizada específica q^*_{90}, e cálculo da vazão de outorga máxima ($Qout_{max}$). No caso do Rio Carinhanha, a estação 45260000 (Rio Carinhanha em Juvenília) está suficientemente próximo à foz para dispensar ajustes.

Código	Área de drenagem Ad (km^2)	Vazão naturalizada Q^*_{90} (m^3/s) 1978-2020		Vazão específica q^*_{90} ($m^3/s/km^2$) 1978-2020	Q*90 ajustada para a foz do Grande e Corrente Q^*_{90} (m^3/s) 1978-2020	Vazão de outorga máxima ($Qout_{max}$) 80% Q^*_{90} ou Q^*_{95} (m^3/s) 1978-2020
Bacia do Rio Grande						
Foz	78.214,6	?	–	0,00302	236,35	189,08
46902000	65.900,0	199,14	–	0,00302	199,14	159,31
46870000	22.151,0	77,21	–	0,00349	77,21	61,77
46590000	6.918,0	38,64	–	0,00559	38,64	30,91
46784000	685,0	8,56	–	0,01250	8,56	6,85
46570000	2.521,0	7,64	–	0,00303	7,64	6,11
46550000	24.495,8	57,09	–	0,00233	57,09	45,67
Bacia do Rio Corrente						
Foz	34.141,6	?	–	0,00449	153,27	122,62
45960001	31.155,7	139,87	–	0,00449	139,87	111,90
45840000	7.132,7	54,22	–	0,00760	54,22	43,38
45770000	5.644,5	42,49	–	0,00753	42,49	33,99
45740001	9.039,3	25,46	–	0,00282	25,46	20,37
45590000	3.852,4	23,40	–	0,00607	23,40	18,72
Bacia do Rio Carinhanha						
45260000	15.600,0	–	76,72	–	76,72	76,72
45170001	5.757,0	41,28			41,28	33,02
Total Bacias Grande, Corrente e Carinhanha						388,42

Conforme os cálculos apresentados, as vazões máximas de outorga para o cenário presente (2020) são de 189,08; 122,62 e 76,72 m^3/s para as Bacias do Rio Grande, Rio Corrente e Carinhanha, respectivamente, com um total outorgável de 388,42 m^3/s. Esses valores são para as bacias como um todo, e como já consideraram o período anomalamente seco de 2015-2020, pode também ser considerado como um cenário de escassez.

Aqui vale a pena fazer a distinção entre vazão de outorga máxima e vazão máxima explotável do aquífero (Parte 4). De forma simplificada, a recarga renovável média do aquífero é a diferença entre precipitação e evapotranspiração (P – ET) na região do aquífero. Num sistema em fluxo contínuo, toda essa recarga alimenta os rios que drenam o aquífero. Na Parte 4 deste relatório, foi estimado que a recarga explotável é 20% da recarga renovável média, o que equivale a 118 m^3/s. Por outro lado, na ausência de explotação, a vazão média de longa duração drenada do aquífero é cinco vezes esse valor, ou 590 m^3/s. A esses valores são somados aos valores de (P – ET) fora do aquífero, o que aumenta a vazão média de longa duração (Qmld) dos três rios para 725 m^3/s. Desta vazão média de 725 m^3/s, calculamos que a vazão de outorga máxima é de 388,42 m^3/s, conforme Tabela 3.3.3.d.2, valores que já incluem a recarga explotável do aquífero (118 m^3/s), respeitando assim a condição assumida de que vazões bombeadas superficiais e subterrâneas contribuem igualmente para a redução da vazão dos rios.

A Tabela 3.3.3.d.3 mostra o total de área com infraestrutura de irrigação instalada, área máxima irrigada no período 2001-2020, máxima vazão média mensal de irrigação para cada bacia, e a máxima vazão específica de irrigação, em $m^3/s/km^2$ irrigado. Todos os valores foram obtidos da plataforma OBahia, usando a ferramenta de Séries Temporais de Mapas, selecionando a opção de Séries Temporais das Áreas Irrigadas.

Tabela 3.3.3.d.3 - Áreas com infraestrutura de irrigação instalada, área máxima irrigada no período 2001-2020, máxima vazão mensal de irrigação e cálculo da máxima vazão específica de irrigação.

Código	Área com infraestrutura de irrigação instalada	Área efetivamente irrigada	Máxima vazão mensal de irrigação	Máxima vazão específica de irrigação
	Aii (ha) 2020	Ai (ha) 2001-2020	Qimax (m^3/s) 2001-2020	Qimax (m^3/s/ha irrigado)
Bacia do Rio Grande				
Foz	136.288	123.070	52,87	4,30
46902000	135.628	122.779	52,68	4,29
46870000	3.756	3.919	1,68	4,29
46590000	41.235	39.458	17,36	4,40
46784000	19.530	19.530	7,72	3,95
46570000	12.524	12.249	5,70	4,65
46550000	85.123	79.132	33,66	4,25
Bacia do Rio Corrente				
Foz	65.143	61.574	22,61	3,67
45960001	58.332	55.966	20,62	3,68
45840000	33.887	33.026	12,19	3,69
45770000	3.299	3.419	1,30	3,80
45740001	10.352	9.860	3,91	3,97
45590000	6.803	7.018	2,57	3,66
Bacia do Rio Carinhanha				
45260000	15.328	14.552	4,10	2,82
45170001	9.075	9.765	2,70	2,76
Total	216.759		79,58	

As Tabelas 3.3.3.d.4 e a Tabela 3.3.3.d.5 descrevem a sequência de cálculos para a máxima área irrigável por bacia, para os cenários presente (2020) e para o cenário futuro. Em seguida, as Figuras 3.3.3.d.1 a 3.3.3.d9 apresentam a distribuição espacial das áreas com aptidão para expansão da irrigação, classificadas de altamente aptas a inaptas.

Analisando a Tabela 3.3.3.d.4 (Cenário 1), nota-se que, dos 388,42 m^3/s outorgáveis nas três bacias, apenas 128,24 m^3/s (33,0%) foram outorgados atualmente, com um adicional outorgável de 260,18 m^3/s. Usando a máxima vazão específica de irrigação no período 2001-2020 (Tabela 3.3.3.d.3), a área máxima irrigável para o cenário presente é de 1.046.375 ha. Descontando-se o total já irrigado (216.759 ha, Tabela 3.3.3.d.3), resta um potencial de expansão de 829.616 ha. Embora esse número total para as três bacias indique um razoável potencial de expansão da agricultura irrigada na região, esse potencial não é uniforme. 36,6% estão na Bacia do Rio Grande, 32,4% na Bacia do Rio Corrente, e 31,0% na Bacia do Rio

Carinhanha. Ainda, algumas áreas no Rio Grande, como o trecho à montante de Barreiras (46550000) ou no Rio de Janeiro à montante de 46570000, o potencial de expansão é nulo ou muito pequeno. Essas diferenças regionais serão abordadas mais abaixo.

Sobre o potencial de expansão no cenário presente (Cenário 1), cabem duas análises adicionais. Primeiro, a escolha da máxima vazão específica de irrigação no período 2001-2020 é mais um critério conservador adicionado aos cálculos. Ao invés de usar o valor médio para o mês de maior irrigação, usamos o máximo valor da série histórica, o que maximiza o uso da água pela irrigação e reduz o potencial de expansão. Em segundo lugar, considerando a taxa atual média de 11.000 ha/ano no período 2011-2020, a expansão possível (~830.000 ha) representa uma possibilidade de expansão contínua por 75 anos, às taxas atuais. Neste caso, faz ainda mais sentido considerar um cenário futuro de redução acentuada dos recursos hídricos devido à persistência das mudanças climáticas (Cenário 2 – redução de 20% na Q^*_{90}).

A análise do Cenário 2 (Cenário futuro – Tabela 3.3.3.d.5) indica uma redução da vazão máxima outorgável para 310,74 m^3/s, o que implica numa área máxima irrigável de 837.100 ha e um potencial de expansão de 620.341 ha, sendo distribuído de maneira aproximadamente igual nas bacias do Rio Grande, Rio Corrente e Rio Carinhanha.

A Figura 3.3.3.d.1 mostra o potencial de aptidão das terras para expansão da irrigação no Oeste da Bahia. Em primeiro lugar, três categorias se destacam. Em cinza claro, estão as áreas restritas para expansão (Reserva Legal, Áreas de Proteção Permanente, Unidades de Conservação, área urbanas e corpos d'água). Em segundo lugar, em cinza escuro, estão áreas da Bacia do Rio Carinhanha que podem ser sujeitas a outorgas federais por parte da ANA ou outorgas mineiras por parte do IGAM-MG. Essas áreas não serão abordadas em profundidade. Em terceiro lugar, as áreas com fundo branco pontilhado representam áreas com outorgas já saturadas ou muito próximas da saturação, nas quais não recomendamos novas concessões de outorgas antes da implementação de um sistema de monitoramento de disponibilidade e uso de recursos hídricos. Essas áreas são basicamente a Bacia do Rio Grande à montante de Barreiras, incluindo o Rio de Ondas, o Rio das Fêmeas, o Rio São Desidério, e o Alto Rio Grande, além dos seus afluentes; partes da Bacia do Rio de Janeiro e partes da Bacia do Rio Branco. Não significa que a irrigação esteja proibida nessas regiões, mas como todas essas regiões estão próximas à saturação do uso de recursos hídricos, recomendamos fortemente que novas outorgas só sejam concedidas após um conhecimento mais detalhado dos recursos hídricos da região, através do mencionado sistema de monitoramento.

O restante da região é dividido em quatro cores, de acordo com a sua aptidão para expansão da irrigação. As áreas de maior aptidão estão marcadas em azul. Essas áreas tipicamente contam com acesso a dois tipos de recursos hídricos (superficial ou subterrâneo), tem topografia plana e já são usadas por culturas agrícolas ou pastagens. Expandir a irrigação sobre essas áreas não implica em desmatamento adicional. As áreas em verde são similares às áreas em azul, com alta aptidão, pelos mesmos critérios anteriores, mas ainda estão cobertas por vegetação nativa. Expandir a irrigação sobre estas áreas implica em desmatamento e maior custo de implantação, razão pela qual ela recebeu uma classificação diferenciada. As áreas em amarelo têm boa aptidão para expansão da irrigação. Essas áreas têm acesso apenas a recursos hídricos superficiais, e estão localizadas a no máximo 10 km de distância dos principais cursos d'água. Também são áreas com topografia suave, e já são atualmente usadas para culturas agrícolas ou pastagens, não sendo necessário desmatamento adicional para expansão da irrigação. Finalmente, as áreas em vermelho são áreas de baixa aptidão ou mesmo inaptas para expansão da irrigação. São áreas sem acesso fácil a recursos hídricos, ou de topografia acentuada, e/ou cobertas por vegetação nativa. Essas áreas devem ser evitadas na expansão da irrigação.

Tabela 3.3.3.d.4 – Cálculo da máxima área irrigável e do potencial de expansão de área irrigável no cenário presente (2020) (Cenário 1).

Código	Vazão de outorga máxima ($Qout_{max}$) 80% Q^*_{90} ou Q^*_{95} (m^3/s) 1978-2020	Soma das vazões outorgadas totais (superficial e subterrânea) Qout (m^3/s) 2020	Vazão já outorgada $Qout/Qout_{max}$ (%) 2020	Adicional outorgável $Qout_{max} - Qout$ (m^3/s) 2020	Máxima vazão específica de irrigação qimax (m^3/s/ha irrigado)	Máxima área irrigável (cenário presente) Aimax (ha irrigado) 2020	Potencial de expansão de área irrigável (cenário presente) ΔAimax (ha irrigado) 2020	Percentagem espacial do adicional de área irrigável ΔAimax/ΣΔAimax (%) 2020
Bacia do Rio Grande								
Foz	189,08	62,71	33,2%	126,37	4,30	440.143	303.855	36,6%
46902000	159,31	62,71	39,0%	97,13	4,29	371.302	235.674	28,4%
46870000	61,77	3,80	6,2%	57,97	4,29	144.089	140.333	16,9%
46590000	30,91	17,48	56,5%	13,43	4,40	70.261	29.026	3,5%
46784000	6,85	7,80	113,9%	-0,95	3,95	17.324	-2.206	-0,3%
46570000	6,11	4,96	81,2%	1,15	4,65	13.134	610	0,1%
46550000	45,67	36,94	80,9%	8,73	4,25	107.371	22.248	2,7%
Bacia do Rio Corrente								
Foz	122,62	63,31	51,6%	59,31	3,67	333.932	268.789	32,4%
45960001	111,90	57,70	51,6%	54,20	3,68	303.704	245.372	29,6%
45840000	43,38	23,30	53,7%	20,07	3,69	117.517	83.630	10,1%
45770000	33,99	16,35	48,1%	17,64	3,80	89.399	86.100	10,4%
45740001	20,37	11,93	58,6%	8,44	3,97	51.363	41.011	4,9%
45590000	18,72	2,49	13,3%	16,23	3,66	51.119	44.316	5,3%
Bacia do Rio Carinhanha								
45260000	76,72	2,22	2,9%	74,50	2,82	272.300	256.972	31,0%
45170001	33,02	2,01	6,1%	31,01	2,76	119.437	110.362	13,3%
Total	388,42	128,24	33,0%	260,18		1.046.375	829.616	100%

Tabela 3.3.3.d.5 ⚄ - Cálculo da máxima área irrigável e do potencial de expansão de área irrigável no cenário futuro (Cenário 2).

Código	Vazão de outorga reduzida em 20% (cenário futuro) $Qout_{max}'$ (m^3/s) cenário futuro	Adicional outorgável $Qout_{max}' - Qout$ (m^3/s) cenário futuro	Máxima área irrigável (cenário futuro) Aimax' (ha irrigado) cenário futuro	Potencial de expansão de área irrigável (cenário presente) ΔAimax (ha irrigado) cenário futuro	Percentagem espacial do adicional de área irrigável ΔAimax/ΣΔAimax (%) cenário futuro
Bacia do Rio Grande					
Foz	151,27	88,55	352.114	215.826	34,8%
46902000	127,45	65,27	297.041	161.413	26,0%
46870000	49,41	45,61	115.271	111.515	18,0%
46590000	24,73	7,25	56.209	14.974	2,4%
46784000	5,48	-2,32	13.859	-5.671	-0,9%
46570000	4,89	-0,07	10.507	-2.017	-0,3%
46550000	36,54	-0,40	85.897	774	0,1%
Bacia do Rio Corrente					
Foz	98,10	34,79	267.146	202.003	32,6%
45960001	89,52	31,82	242.963	184.631	29,8%
45840000	34,70	11,40	94.014	60.127	9,7%
45770000	27,19	10,84	71.519	68.220	11,0%
45740001	16,29	4,37	41.090	30.738	5,0%
45590000	14,98	12,49	40.896	34.093	5,5%
Bacia do Rio Carinhanha					
45260000	61,38	59,15	217.840	202.512	32,6%
45170001	26,42	24,41	95.549	86.474	13,9%
Total	310,74	182,49	837.100	620.341	100%

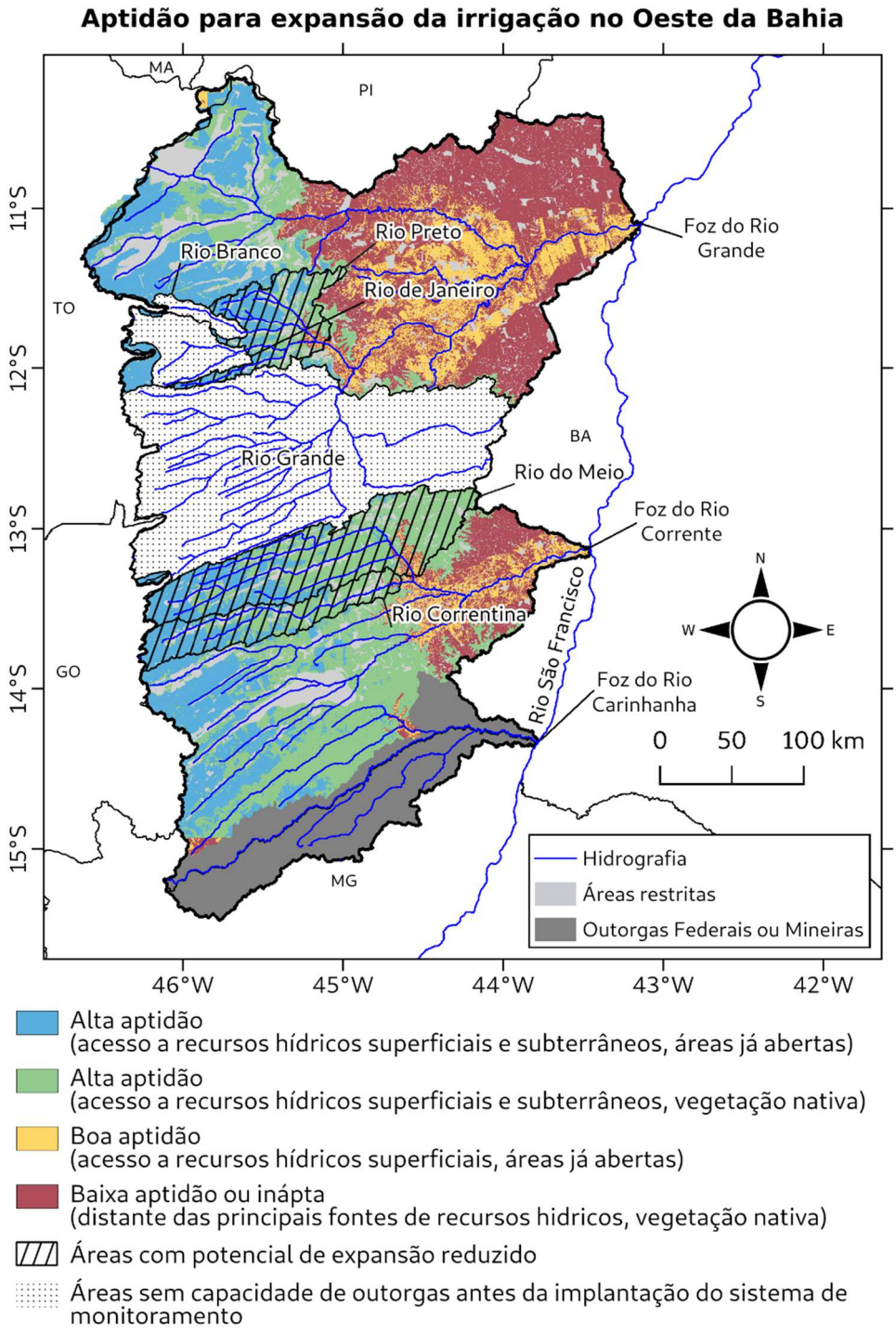

Figura 3.3.3.d.1 - Aptidão das terras para expansão da irrigação no Oeste da Bahia.

Na Figura 3.3.3.d.1 e subsequentes, existem ainda as áreas hachuradas. Essas áreas, embora aptas para expansão da irrigação pelos critérios acima, são áreas com pouco potencial de expansão, devido à baixa disponibilidade dos recursos hídricos remanescentes (ainda não outorgados). Para ser enquadrada como área de baixo potencial de expansão, a área deveria ter < 8% do potencial de expansão total nas três bacias. Essas áreas incluem o restante da Bacia do

Rio Branco, o Rio do Meio e o Rio Correntina. Dentre as áreas aptas, essas áreas devem ser consideradas como não-prioritárias, devido ao seu pequeno potencial de expansão.

Os critérios de aptidão descritos acima não incluem limitações de infraestrutura, como o acesso a energia elétrica. Em muitos trechos do Oeste da Bahia, a rede elétrica tem pouca capacidade de adição de carga e o próprio sistema de transmissão necessita de expansão. Como o potencial de expansão da irrigação demorará décadas até ser totalmente utilizado, é possível que quaisquer limitações de infraestrutura sejam resolvidas neste período.

Após a análise regional, passamos agora à análise detalhada por bacia, incluindo a aptidão agrícola, e a disponibilidade de recursos hídricos.

- **Bacia do Rio Grande**

A Bacia do Rio Grande à montante de Barreiras já se encontra com boa parte dos seus recursos hídricos comprometidos com outorgas, e não recomendamos a expansão da irrigação antes da implantação de um sistema de monitoramento de recursos hídricos, o que melhorará o conhecimento sobre a disponibilidade e demanda de recursos hídricos na região. Essa situação inclui alguns de seus tributários, como a cabeceira do Rio Branco e do Rio de Janeiro.

Entretanto, o restante da Bacia do Rio Grande ainda tem um potencial de expansão de 303.855 ha no cenário atual (Tabela 3.3.3.d.4), e 215.826 ha no cenário futuro. Essa expansão não pode ocorrer em qualquer lugar, pois já existem várias áreas com restrição de expansão, conforme Figura 3.3.3.d.1. Por outro lado, a expansão ainda é possível em dois de seus afluentes, o Rio Preto e o Rio Branco, e ao longo do próprio Rio Grande, à jusante de Barreiras. Esses cenários espaciais de expansão serão analisados individualmente a seguir.

- **Bacia do Rio Grande – Sub-bacia do Rio Preto**

A Sub-bacia do Rio Preto, à montante da estação 46870000 (Fazenda Porto Limpo) tem atualmente 3.919 ha irrigados. A soma das outorgas superficiais e subterrâneas em 2020 era de 3,80 m^3/s, e o uso máximo no período 2001-2020 foi de 1,68 m^3/s, o que corresponde a 6,1% e 2,7% da vazão máxima outorgável (61,77 m^3/s – Tabela 3.3.3.d.2) para o período atual, respectivamente. É uma região com alto potencial de expansão para irrigação. No cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 140.333 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 16,9% do potencial de expansão presente. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 111.515 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 18% do potencial de expansão futuro.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.2), a maior parte do potencial de expansão está no Alto Rio Preto, região sobre o aquífero Urucuia. Embora a paisagem seja bastante dominada por áreas protegidas, existem grandes áreas contíguas que permitem a expansão da agricultura irrigada comercial, apesar das atuais limitações de disponibilidade de energia elétrica. Existe um potencial razoável de expansão da irrigação em áreas pequenas no baixo Rio Preto, o que configura uma boa oportunidade para irrigação de pequenas propriedades, típicas de agricultura familiar.

A região tem 832.100 ha de áreas já usadas por culturas agrícolas ou pastagens, ou seja, todo o potencial de expansão de áreas irrigadas pode ser realizado ocupando apenas 14% das áreas já abertas (cenário presente). Isso dispensa a necessidade de desmatamento para expansão da agricultura irrigada.

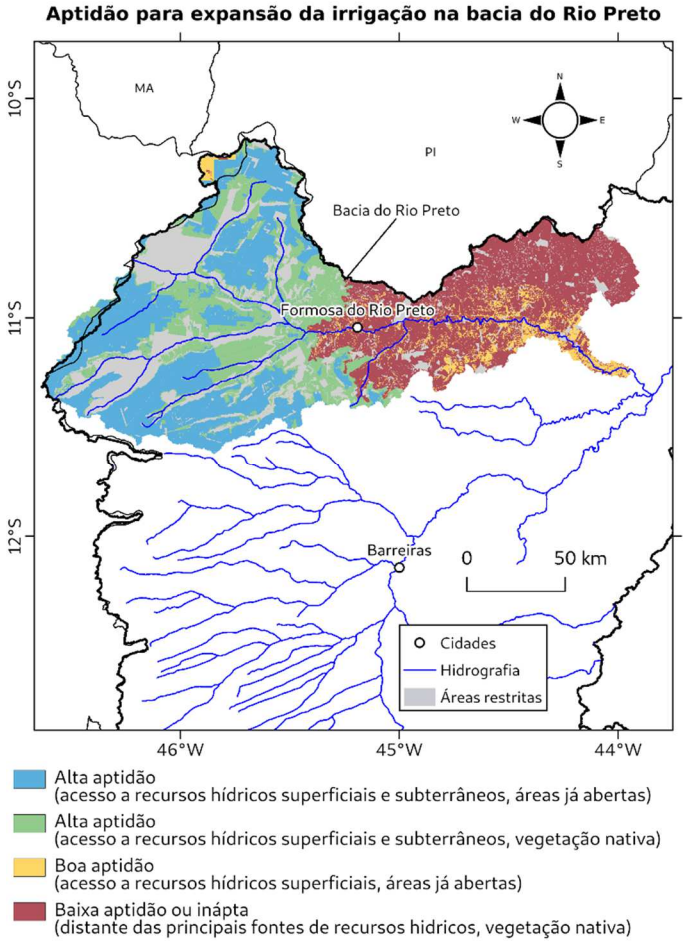

Figura 3.3.3.d.2 0 Aptidão das terras para expansão da irrigação na Bacia do Rio Preto.

- **Bacia do Rio Grande – Rio Grande à jusante de Barreiras**

A Bacia do Rio Grande como um todo tem atualmente 123.070 ha irrigados (Tabela 3.3.3.d.3). A soma das outorgas superficiais e subterrâneas em 2020 era de 62,71 m^3/s (Tabela 3.3.3.d.4), e o uso máximo no período 2001-2020 foi de 52,87 m^3/s (Tabela 3.3.3.d.3), o que corresponde a 33% e 28% da vazão máxima outorgável (189,08 m^3/s – Tabela 3.3.3.d.2) para o período atual, respectivamente.

Embora à montante de Barreiras o potencial de expansão seja limitado, o Rio Grande à jusante de Barreiras é uma região com alto potencial de expansão para irrigação. No cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 112.249 ha[1] (Tabela 3.3.3.d.4), ou 13,5% do potencial de expansão presente. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 88.564 ha[2] (Tabela 3.3.3.d.5), ou 14,3% do potencial de expansão futuro.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.3), a maior parte do potencial de expansão está numa faixa de 20 km de largura ao redor do canal principal do Rio Grande (10 km para cada lado). A paisagem atualmente é fragmentada e dominada por pastagens, permitindo tanto a expansão da irrigação da agricultura comercial quanto da agricultura familiar.

[1] 303.855 ha na Bacia do Rio Grande menos 140.333 ha no Rio Preto menos 29.026 ha no Rio Branco menos 22.248 ha no Rio Grande à montante de Barreiras.

[2] 215.826 ha na Bacia do Rio Grande menos 111.515 ha no Rio Preto menos 14.974 ha no Rio Branco menos 774 ha no Rio Grande à montante de Barreiras.

A região tem atualmente 1.228.900 ha de áreas já usadas por culturas agrícolas ou pastagens, ou seja, todo o potencial de expansão de áreas irrigadas pode ser realizado ocupando apenas 9,1% das áreas já abertas (cenário presente). Isso dispensa a necessidade de desmatamento para expansão da agricultura irrigada.

- **Bacia do Rio Branco – à montante de 46590000 (Nova Vida)**

O Rio Branco é um tributário do Grande, desaguando à jusante de Barreiras. Tem como seu principal afluente o Rio de Janeiro (Figura 3.3.3.d.3). Atualmente as cabeceiras do Rio Branco e do Rio de Janeiro são densamente irrigadas, deixando pouco espaço para expansão nessa região. A parte baixa do Rio de Janeiro e do Rio Branco, porém, ainda contam com um pequeno potencial de expansão (área hachurada na Figura 3.3.3.d.3).

No cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 29.026 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 3,5% do potencial de expansão presente. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 19.974 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 2,4% do potencial de expansão futuro.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.3), a maior parte do potencial de expansão está em áreas sobre o aquífero ou próximos aos dois rios principais). Existem áreas de expansão tanto para agricultura comercial quanto para agricultura familiar, expandindo a irrigação sobre as áreas já abertas para agricultura e pastagem, preservando os remanescentes de vegetação natural.

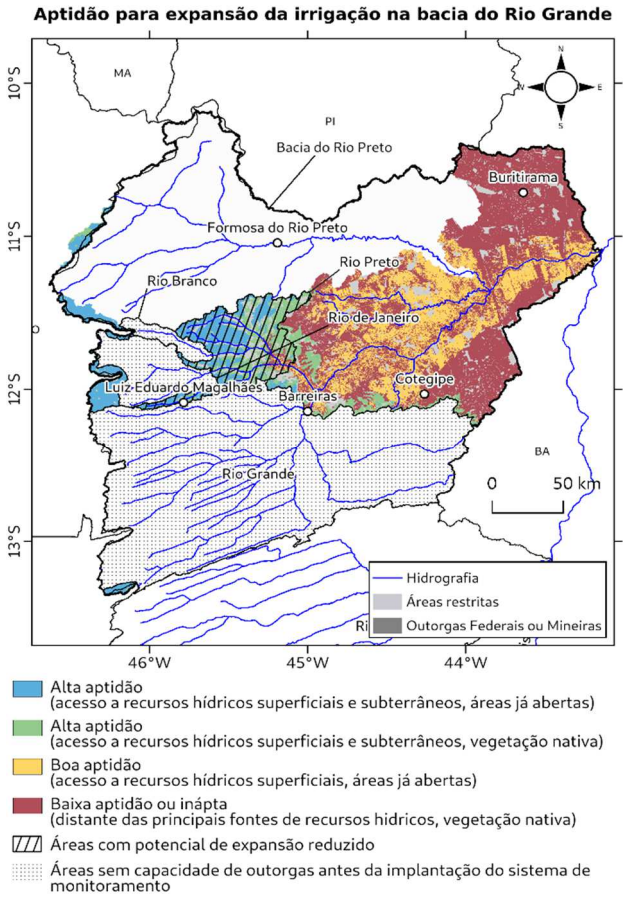

Figura 3.3.3.d.3 - Aptidão das terras para expansão da irrigação na Bacia do Rio Grande à jusante de Barreiras.

- **Rio Corrente**

O Rio Corrente tem quatro afluentes principais, o Rio do Meio, o Rio Arrojado, o Rio Correntina e o Rio Formoso, que se reúnem para formar o Rio Corrente. A Bacia tem área de drenagem total de 34.141,6 km^2 na foz, sendo que em 2020 já existiam 61.574 ha irrigados na bacia.

A Bacia do Rio Corrente como um todo tem um potencial de irrigar 333.932 ha, ou seja, ainda tem um potencial de expansão de 268.789 ha no cenário presente (Tabela 3.3.3.d.4), e 202.003 ha no cenário futuro. A análise espacial de expansão será feita para os quatro tributários principais e para o baixo Rio Corrente.

- **Rio do Meio**

O Rio do Meio é o tributário mais ao norte na Bacia do Rio Corrente (Figura 3.3.3.d.4). A área à montante da estação 45740001 (Mocambo) tem 9.039 km^2 (Tabela 3.3.3.d.1), sendo que em 2020 já existiam 10.350 ha de infraestrutura de irrigação instalada (Tabela 3.3.3.d.3).

No cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 41.011 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 4,9% do potencial de expansão presente nas três bacias. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 30.738 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 5,0% do potencial de expansão futuro, razão pelo qual consideramos que o potencial de expansão é reduzido, assim como no Rio Branco.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.4), a maior parte do potencial de expansão está em áreas sobre o aquífero, ou ao longo do Rio do Meio e seus principais tributários (Riacho Galho Grande, Rio Santo Antônio), incluindo umas poucas áreas fora do aquífero, próximo à confluência com o Rio Correntina. A sub-bacia do Rio do meio hoje tem 292.700 ha já sob uso agrícola ou pastagens, o que indica que toda a expansão (41.011 ha) pode ocorrer sobre áreas já abertas para agricultura e pastagem, preservando os remanescentes de vegetação natural. Existem áreas de expansão tanto para agricultura comercial quanto para agricultura familiar.

- **Rio Correntina**

A sub-bacia do Rio Correntina se situa entre a sub-bacia do Rio do Meio e a sub-bacia do Rio Arrojado. (Figura 3.3.3.d.5). A área à montante da estação 45590000 (Correntina) tem apenas 3.852 km^2 (Tabela 3.3.3.d.1), sendo que em 2020 já existiam 7.018 ha de infraestrutura de irrigação instalada (Tabela 3.3.3.d.3).

No cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 44.316 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 5,3% do potencial de expansão presente nas três bacias. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 34.093 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 5,5% do potencial de expansão futuro, razão pelo qual consideramos que o potencial de expansão é reduzido, assim como na sub-bacia do Rio Branco e na sub-bacia do Rio do Meio.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.5), a maior parte do potencial de expansão está em áreas sobre o aquífero. A sub-bacia do Rio do Correntina hoje tem 168.000 ha já sob uso agrícola ou pastagens, o que indica que toda a expansão (44.316 ha) pode ocorrer sobre áreas já abertas para agricultura e pastagem, preservando os remanescentes de vegetação natural. Existem áreas de expansão tanto para agricultura comercial quanto para agricultura familiar.

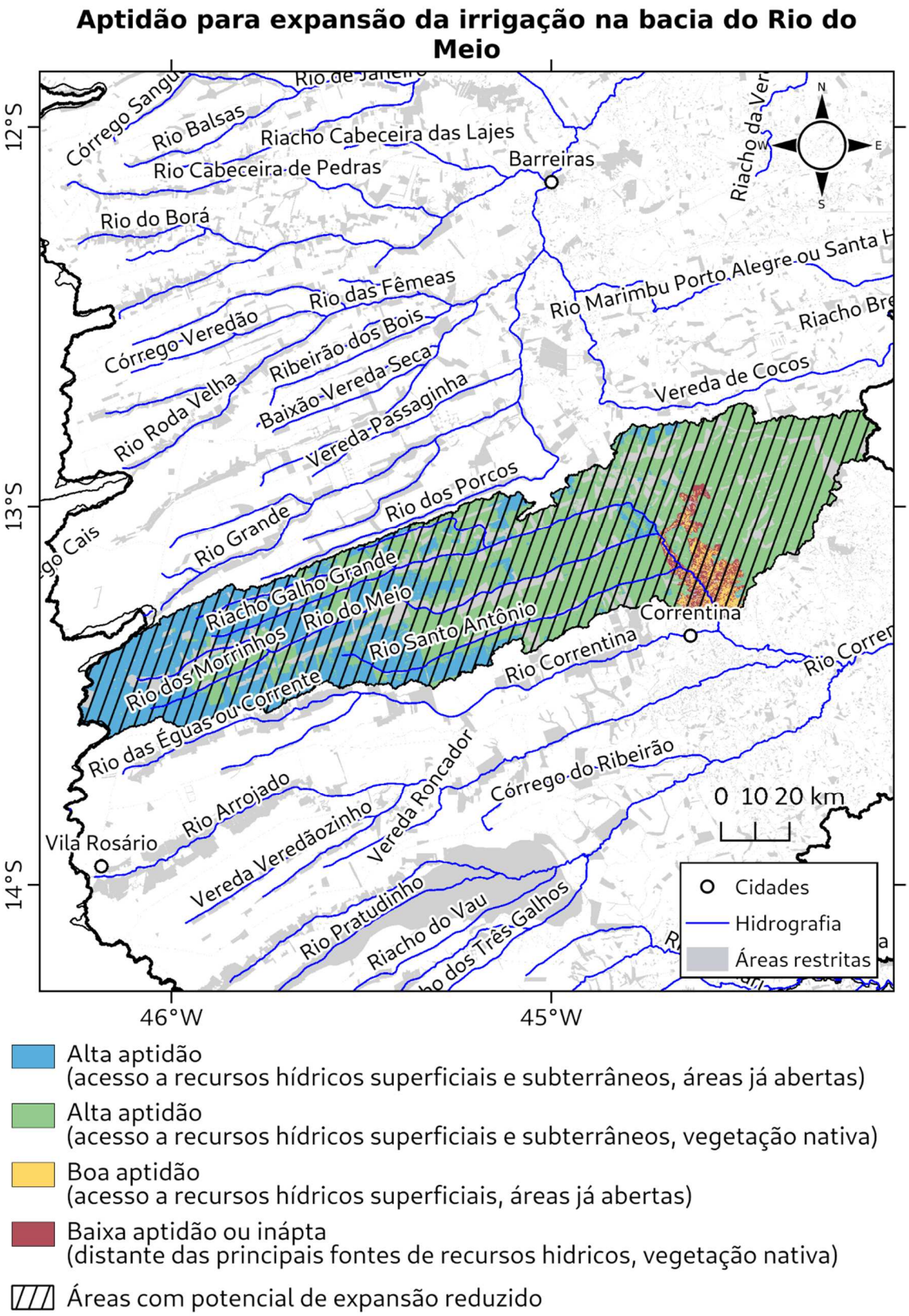

Figura 3.3.3.d.4 - Aptidão das terras para expansão da irrigação na Bacia do Rio do Meio

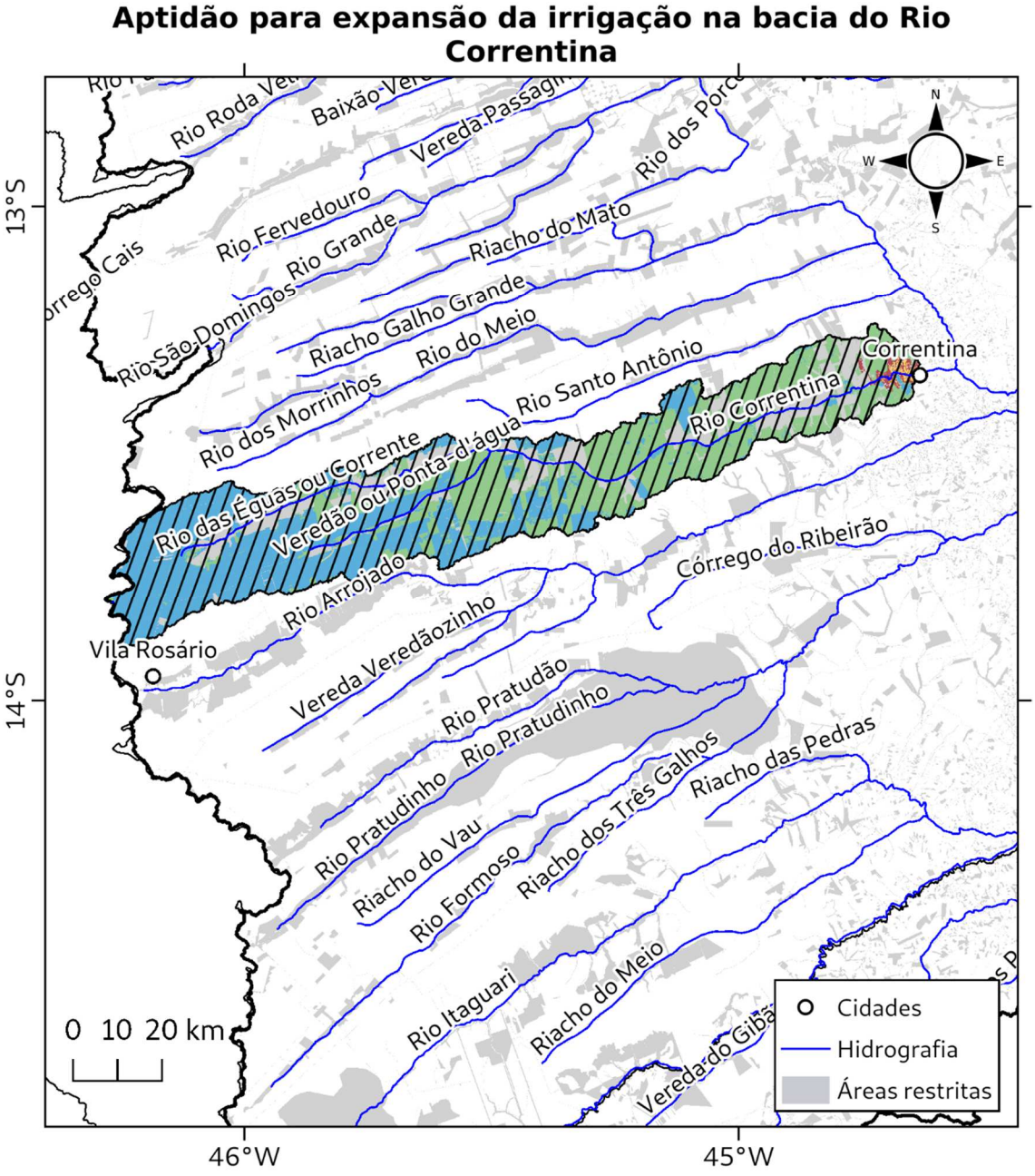

Figura 3.3.3.d.5 - Aptidão das terras para expansão da irrigação na Bacia do Rio Correntina

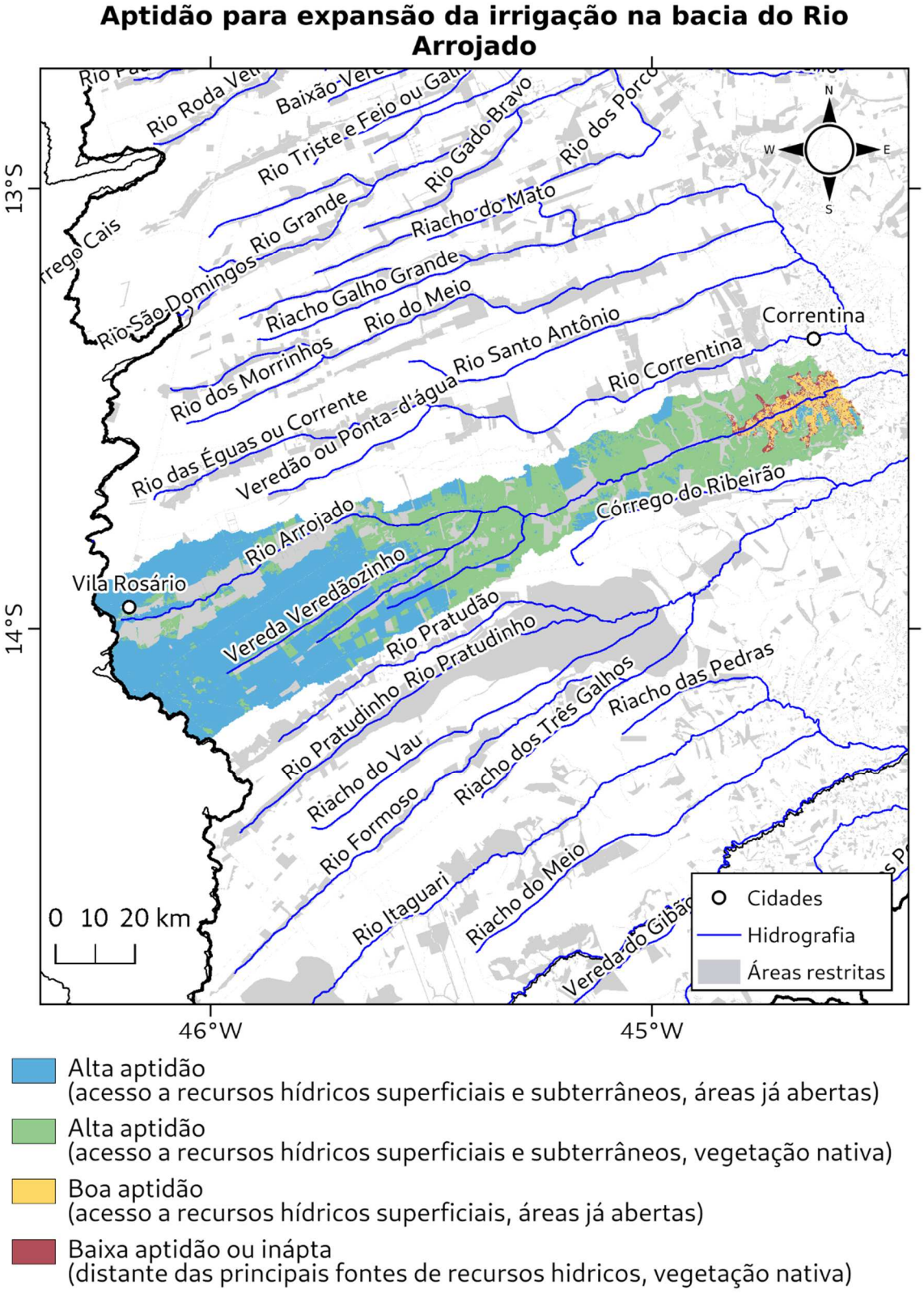

Figura 3.3.3.d.6 - Aptidão das terras para expansão da irrigação na Bacia do Rio Arrojado

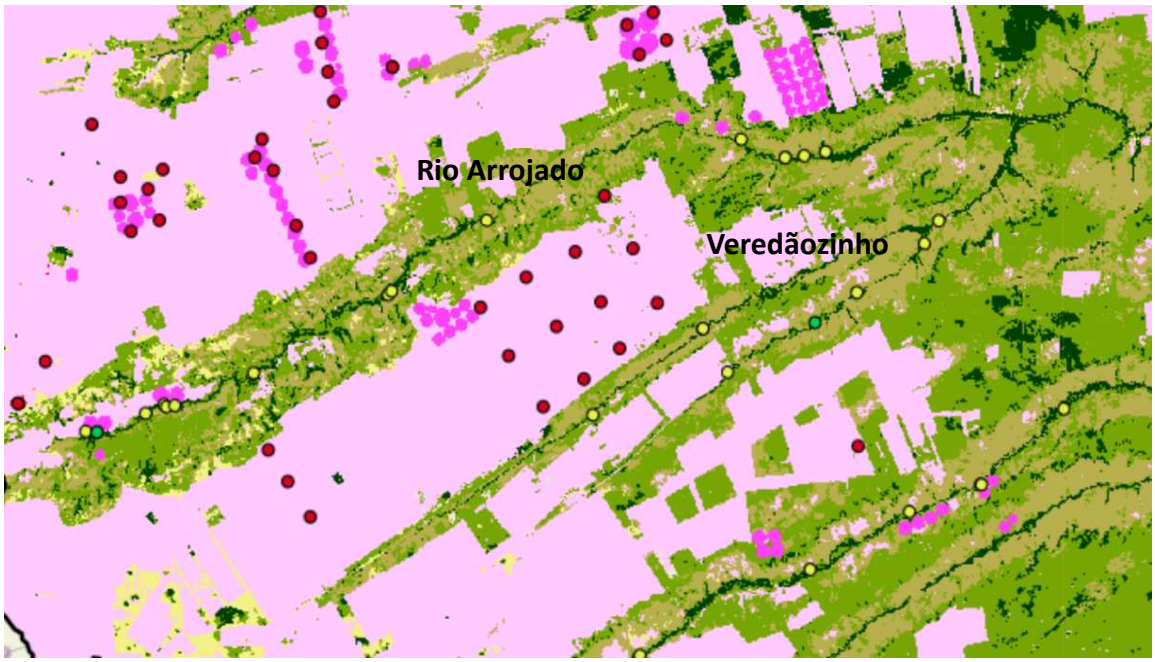

Figura 3.3.3.d.7 - Destaque da sub-bacia do Rio Arrojado, mostrando áreas já abertas e com outorgas subterrâneas concedidas (círculos vermelhos), além de várias outorgas superficiais (círculos amarelos) indicando iminência de instalação de equipamentos de irrigação nesta área (extraído do Servidor de Mapas do OBahia). Os círculos em magenta representam pivôs centrais instalados e em funcionamento.

- **Rio Arrojado**

A sub-bacia do Rio Arrojado se situa entre a sub-bacia do Rio do Correntina e a sub-bacia do Rio Formoso. (Figura 3.3.3.d.6). A área à montante da estação 45770000 (Arrojado) tem apenas 5.644 km^2 (Tabela 3.3.3.d.1), sendo que em 2020 existiam apenas 3.419 ha irrigados (Tabela 3.3.3.d.3).

Devido à baixa irrigação atualmente, no cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 86.100 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 10,4% do potencial de expansão presente nas três bacias. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 68.220 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 11,0% do potencial de expansão futuro.

A sub-bacia do Rio Arrojado é uma das sub-bacias onde se espera um crescimento mais rápido no curto prazo. A Figura 3.3.3.d.7 mostra um destaque da sub-bacia do Rio Arrojado, mostrando áreas já abertas e com outorgas subterrâneas concedidas (círculos vermelhos), além de várias outorgas superficiais (círculos amarelos) indicando iminência de instalação de equipamentos de irrigação nesta área. Como a vazão máxima de irrigação nesta região é de apenas 8% da vazão outorgada, a área irrigada pode crescer muito rapidamente nesta região, podendo facilmente superar 150 novos pivôs centrais (~18.000 novos ha) instalados em poucos anos, aumentando em mais de cinco vezes a irrigação atual.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.6), a maior parte do potencial de expansão está em áreas sobre o aquífero, tipicamente para agricultura comercial, mas também existem áreas de pastagens na parte mais baixa da sub-bacia (próxima à Correntina), onde a irrigação comercial ou familiar são possíveis. A sub-bacia do Rio Arrojado hoje tem 258.100 ha já sob uso agrícola ou pastagens, o que indica que toda a expansão (86.100 ha) pode ocorrer sobre áreas já abertas para agricultura e pastagem, preservando os remanescentes de vegetação natural.

- **Rio Formoso**

A sub-bacia do Rio Formoso é a sub-bacia mais ao sul da Bacia do Rio Corrente, situando-se entre a sub-bacia do Rio Formoso e a bacia do Rio Carinhanha (Figura 3.3.3.d.8). A área à montante da estação 45840000 (Gatos) é de 7.132 km^2 (Tabela 3.3.3.d.1), sendo que em 2020 existiam 33.887 ha com infraestrutura de irrigação instalada, uma área bastante significativa (Tabela 3.3.3.d.3). É uma das áreas onde a irrigação mais cresceu no Oeste da Bahia, passando de 8125 ha irrigados em 2012 para 33.887 ha em 2020, um crescimento de 317% em oito anos.

Apesar disso, no cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 83.630 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 10,1% do potencial de expansão presente nas três bacias. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 60.127 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 9,7% do potencial de expansão futuro.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.8), a maior parte do potencial de expansão está em áreas sobre o aquífero, sendo que recursos hídricos superficiais também podem ser utilizados. São tipicamente para agricultura comercial. Apesar das grandes áreas protegidas neste sub-bacia, a sub-bacia do Rio Formoso atualmente tem 239.300 ha sob uso agrícola ou pastagens, o que indica que toda a expansão (83.630 ha) pode ocorrer sobre áreas já abertas para agricultura e pastagem, preservando os remanescentes de vegetação natural.

- **Baixo Rio Corrente**

O Baixo Rio Corrente compreende a região à jusante das quatro sub-bacias anteriores, até a foz do Rio Corrente no Rio São Francisco (Figura 3.3.3.d.9). Compreende uma área de 8.472,7 km^2, sendo que em 2020 existiam 10.802 ha com infraestrutura de irrigação instalada[3]. A vazão máxima de irrigação mensal, 2,64 m^3/s, é 29% da vazão outorgada para uso (9,24 m^3/s).

O potencial de expansão da agricultura nesta região depende do quanto for usando à montante. No cenário presente, se o potencial nos quatro afluentes a montante for plenamente utilizado, então o potencial de expansão do baixo Rio Corrente é de apenas 13.731 ha, ou 1,7% do potencial de expansão nas três bacias. Por outro lado, se não houver nenhuma expansão nas quatro sub-bacias à montante, então a irrigação poderia expandir até 268.789 ha no Baixo Corrente, correspondendo a 32,4% da expansão potencial nas três bacias. No cenário futuro, se o potencial nos quatro afluentes a montante for plenamente utilizado, então o potencial de expansão do baixo Rio Corrente é de apenas 8.824,8 ha, ou 1,4% do potencial de expansão nas três bacias. Por outro lado, se não houver nenhuma expansão nas quatro sub-bacias à montante, então a irrigação poderia expandir até 202.000 ha no Baixo Corrente, correspondendo a 32,6% da expansão potencial nas três bacias. Assim, embora o Baixo Corrente seja a parte do rio com vazões mais volumosas, novas outorgas nesta região dependem das demais outorgas à montante.

Ficando praticamente fora da região do Aquífero Urucuia, a expansão da irrigação deverá ocorrer sobre áreas de boa aptidão, com acesso apenas a recursos hídricos superficiais, limitada a uma distância de até 10 km do canal principal do Rio Corrente, em áreas planas e já abertas para agricultura. Essas áreas hoje totalizam 303.700 ha, indicando que, mesmo que

[3] Os números calculados para o Baixo Rio Corrente correspondem aos números na foz menos os números nas quatro sub-bacias discutidas anteriormente (Meio, Correntina, Arrojado e Formoso).

não haja expansão da irrigação nas sub-bacias à montante, toda o potencial de expansão da irrigação na Bacia do Rio Corrente poderia ocorrer no Baixo Corrente, mesmo sem novos desmatamentos.

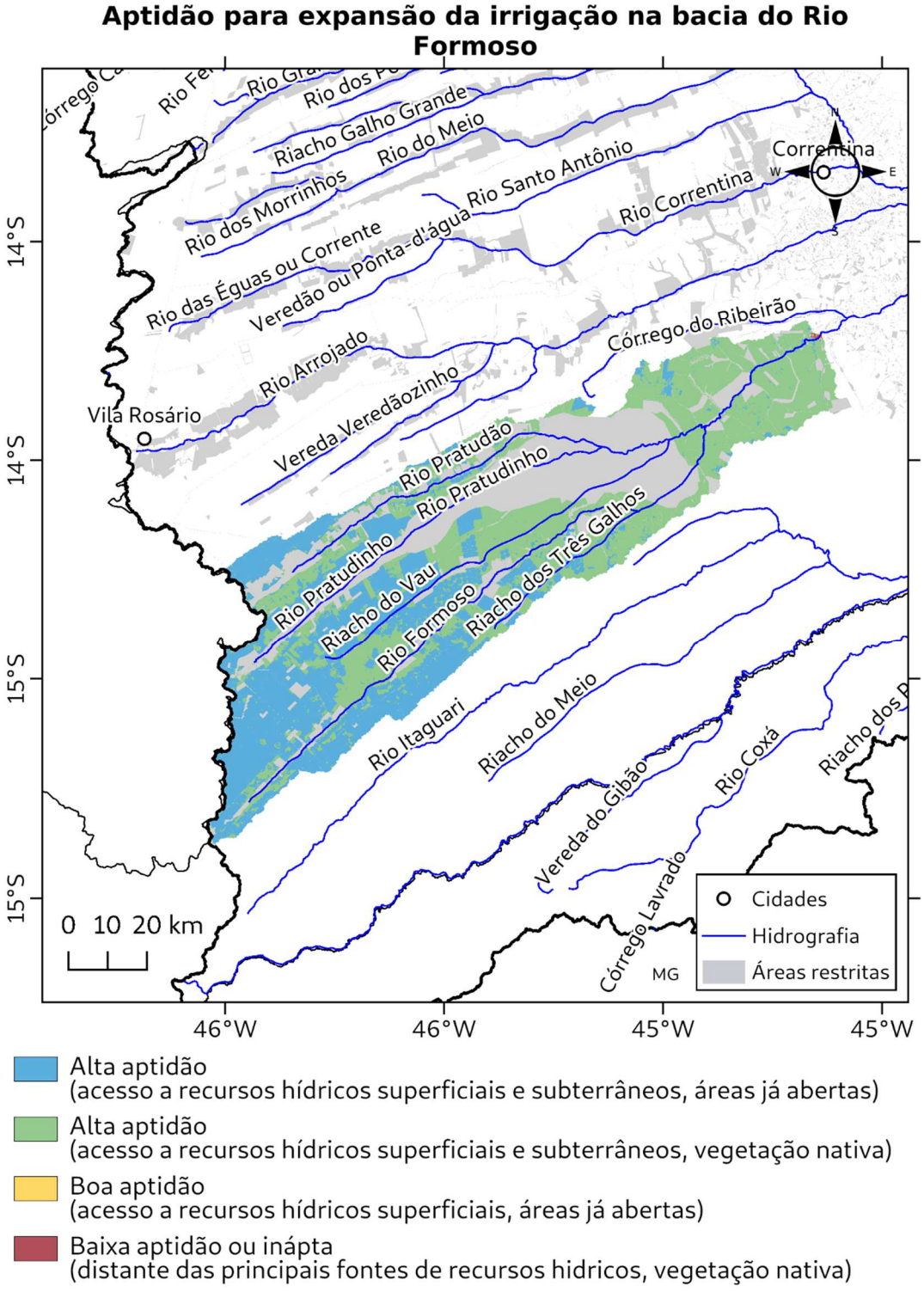

Figura 3.3.3.d.8 - Aptidão das terras para expansão da irrigação na Bacia do Rio Formoso.

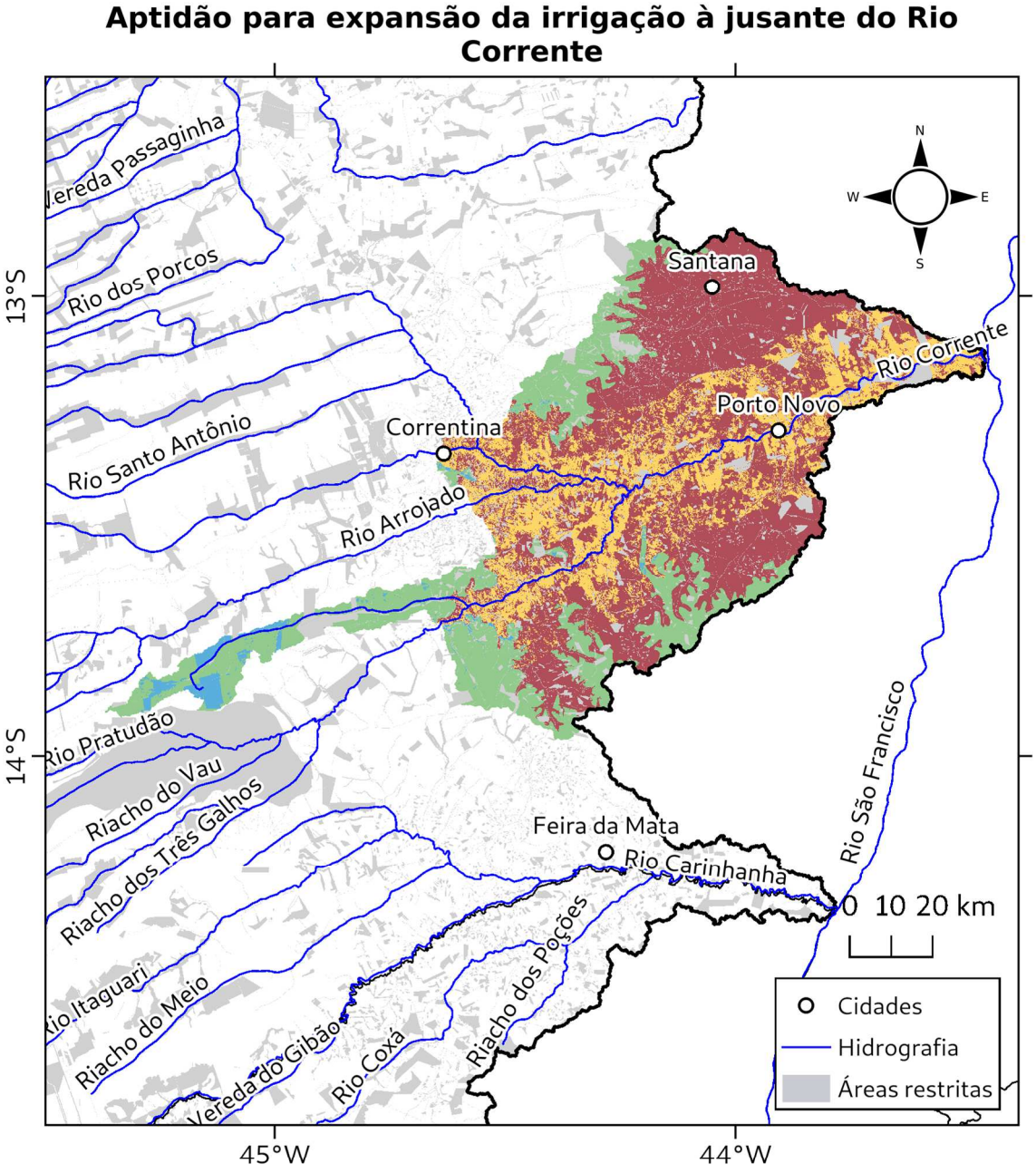

Figura 3.3.3.d.9 - Aptidão das terras para expansão da irrigação no Baixo Rio Corrente

Rio Carinhanha

O Rio Carinhanha é um rio federal, que divide os Estados da Bahia e de Minas Gerais, sendo assim suas outorgas de uso da água são feitas a nível federal. O Rio Carinhanha tem área de drenagem total de 15.600 km2 em Juvenília, sendo que em 2020 existiam 15.328 ha irrigados na bacia.

Usando a Q*95 (critério federal), a vazão de outorga máxima é 76,72 m^3/s. No cenário presente, a Bacia do Rio Carinhanha como um todo tem potencial de irrigar 272.300 ha. Descontando o total já sob irrigação, o potencial de expansão é de 256.972 ha, ou 31,0% do total das três bacias. No cenário futuro, o potencial de expansão é de 202.512 ha.

Embora o Carinhanha em si seja um rio federal, um de seus tributários, o Rio Itaguari (Figura 3.3.3.d.10) é um rio estadual, e será analisado abaixo.

- **Rio Itaguari**

A sub-bacia do Rio Itaguari é o principal tributário ao norte do Rio Carinhanha, e está todo contido no Estado da Bahia (Figura 3.3.3.d.10). A área à montante da estação 45170001 (Fazenda Porto Alegre) é de 5.757 km2 (Tabela 3.3.3.d.1), sendo que em 2020 existiam 9765 ha irrigados (Tabela 3.3.3.d.3

No cenário presente, o potencial de expansão de área irrigável é de 110.362 ha (Tabela 3.3.3.d.4), ou 13,3% do potencial de expansão presente nas três bacias. No cenário futuro, o potencial de expansão de área irrigável é 86.474 ha (Tabela 3.3.3.d.5), ou 13,9% do potencial de expansão futuro.

Espacialmente (Figura 3.3.3.d.10), boa parte da cabeceira do Itaguari é formada por áreas protegidas. A maior parte do potencial de expansão está em áreas sobre o aquífero, sendo que recursos hídricos superficiais também podem ser utilizados. São tipicamente para agricultura comercial. Além das grandes áreas protegidas nesta sub-bacia, uma das desvantagens da expansão da agricultura irrigada no Itaguari é que a área total irrigável (119.437 ha = área atual irrigada mais o potencial de expansão de irrigação) é da mesma ordem de grandeza do que as áreas já abertas para agricultura e pecuária (119.100 ha), o que indica que seu potencial hídrico só poderá ser plenamente utilizado sem desmatamento adicional se toda a área já aberta passar a ser irrigada.

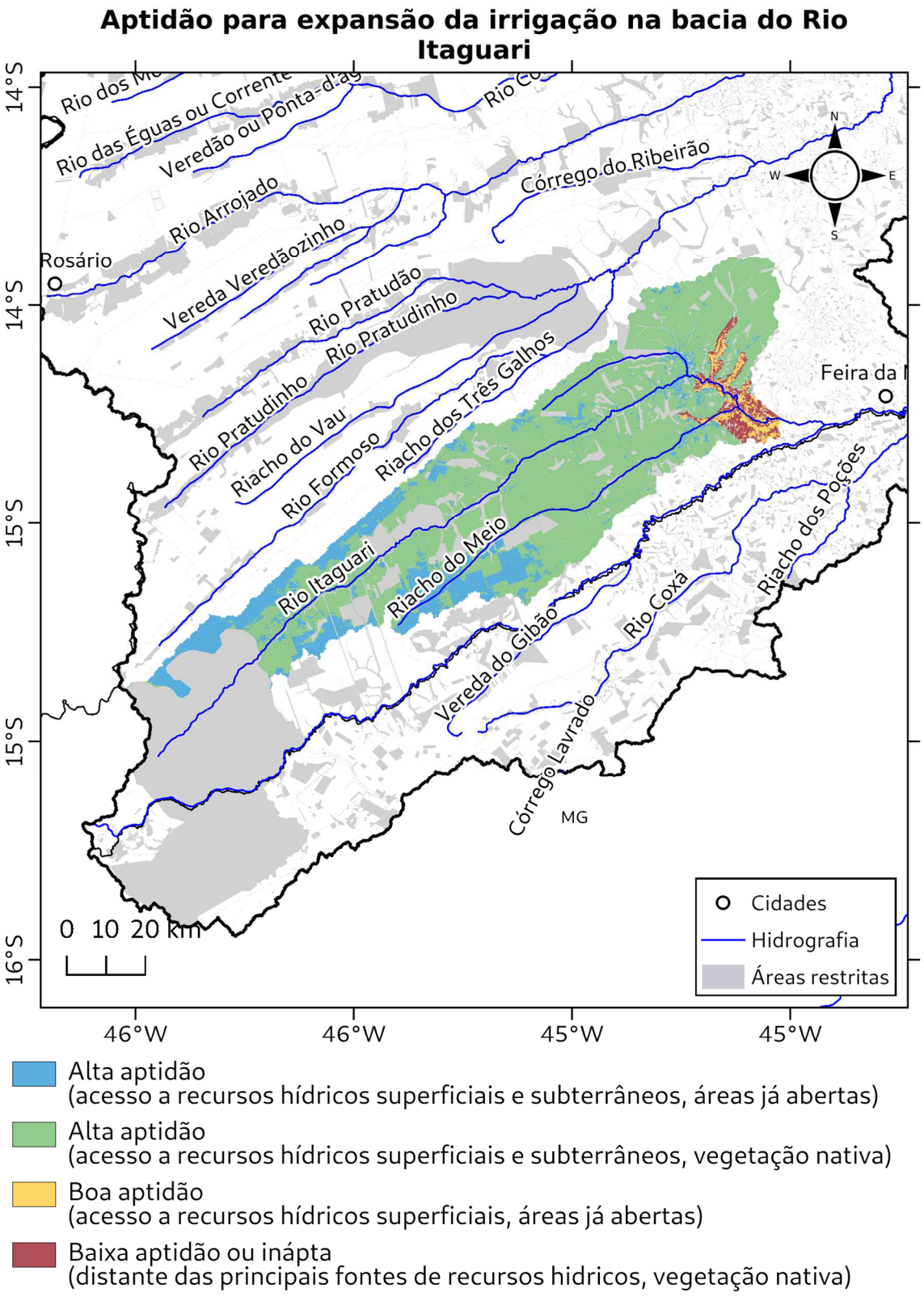

Figura 3.3.3.d.10 – Aptidão das terras para expansão da irrigação no Baixo Rio Itaguari

- **Resumo e conclusões deste estudo de caso:**
  - ✓ Com o clima presente, o potencial de irrigação nas três bacias do Oeste da Bahia é de 1.046.375 ha, sendo que 216.759 ha já são irrigados atualmente, restando um potencial de expansão de 829.616 ha.
  - ✓ À taxa atual de expansão de 11.000 ha/ano, levaria 75 anos para que esta expansão que concretizasse.
  - ✓ Esta análise considera apenas limitações topográficas, de uso do solo e de disponibilidade de recursos hídricos. Não considera limitações de infraestrutura, pois qualquer limitação desta natureza pode ser resolvida no futuro.
  - ✓ No longo prazo, é prudente considerar as mudanças climáticas, que indicam uma redução de 20% na vazão de outorga.
  - ✓ No cenário de mudanças climáticas, o potencial de irrigação nas três bacias do Oeste da Bahia é de 837.100 ha, sendo que 216.759 ha já são irrigados atualmente, restando um potencial de expansão de 620.341 ha.
  - ✓ Qualquer um dos dois potenciais de expansão são restritos a algumas áreas, conforme mapas apresentados. Esses números devem ser usados apenas para fins de planejamento regional, e a real expansão vai depender dos procedimentos usuais, como concessão de outorgas, licenças ambientais etc.
  - ✓ O potencial de expansão inclui as outorgas já concedidas, mas ainda não implementadas na forma de sistemas de irrigação instalados até 2020.
  - ✓ A maior parte das áreas altamente aptas para expansão da agricultura no Oeste da Bahia já foram utilizadas, restando principalmente áreas marginalmente aptas.
  - ✓ Todo esse potencial de irrigação pode ser executado nas áreas atualmente já abertas para agricultura ou pecuária. Não é necessário abrir novas áreas para instalar novos sistemas de irrigação (com exceção talvez da bacia do Carinhanha).
  - ✓ No caso das bacias do Rio Grande à montante de Barreiras, Rio de Janeiro e a parte sul da Bacia do Rio Branco, recomenda-se evitar a concessão de novas outorgas antes que uma rede de monitoramento mais densa dos recursos hídricos esteja em funcionamento.
  - ✓ O potencial de irrigação pode ser modificado de acordo com diversos fatores, incluindo um melhor conhecimento das bacias e do aquífero através de uma rede densa de monitoramento, outorgas sazonais, outorgas coletivas, variabilidade interdecadal do clima e mudanças climáticas de longo prazo.
  - ✓ Pode levar décadas até que esse potencial todo se realize.
  - ✓ Recomenda-se rever esses cálculos a cada 10 anos para considerar os novos conhecidos adquiridos.

(e) Levantamento de indicadores para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade agrícola

O uso de indicadores para quantificar a sustentabilidade ambiental na agricultura é uma eficiente ferramenta para caracterização de sistemas agrícolas quanto ao uso de recursos naturais, existência ou ausência de políticas públicas agro-ambientais, desenvolvimento de tecnologias e práticas de manejo sustentáveis. Em geral, indicadores podem ser utilizados para elaboração de índices quantitativos ou para uma avaliação qualitativa do problema a ser estudado.

Nesta etapa, realizamos um levantamento de indicadores ambientais, sociais e econômicos que pudessem ser interpretados e aplicados espacialmente e temporalmente de forma compatível para a elaboração de um índice de sustentabilidade quantitativo. Os indicadores ambientais calculados utilizaram os mapas de uso e cobertura do solo (*Land Use and Land Cover* - LULC) para o período de 1990-2019 disponíveis na plataforma OBahia, e dados de focos de queimada a partir do processamento do produto MCD45A1 do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) para o período 2002-2019 considerando nível municipal. Os indicadores ambientais propostos foram (i) extensificação agrícola (I_{ext}), (ii) estoque de carbono no solo (I_{Cs}) e (iii) área queimada (I_{fogo}). O I_{ext} representa o percentual de mudança de uso do solo para áreas agrícolas de um determinado ano em relação ao ano anterior; o I_{Cs} representa a quantidade de carbono no solo no município em relação à quantidade existente em 1990, e I_{fogo} é o percentual de área queimada no município para o ano analisado. Todos os indicadores variaram de 0 a 100, de forma que quanto mais próximo de 100 mais sustentável é o município em relação ao indicador calculado. A classificação dos indicadores é dividida entre muito baixa (0-49,99), baixa (50-59,99), médio (60-69,99), alto (70-79,99) e muito alto (80-100).

Com relação ao índice de sustentabilidade socioeconômico, a maior dificuldade foi obter informações quantitativas para todos os 25 municípios do Oeste da Bahia relacionadas às vertentes econômico-social da região que pudessem ser utilizados como indicador socioeconômico. Dados do índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM disponibilizados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) desenvolvidos a partir dos dados censitários do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e estatística) foram obtidos para os anos 1991, 2000 e 2010 e selecionados como indicador socioeconômico para construção do índice de sustentabilidade. Os dados censitários referentes a 2020 não puderam ser incluídos devido ao atraso da realização do censo 2020 em decorrência da pandemia de Covid-19, e dos cortes orçamentários em 2021. A realização do censo está prevista apenas para 2022

Calculou-se um Índice de sustentabilidade (I_{Sus}) quantitativo utilizando a ponderação equitativa entre todos os quatro indicadores de sustentabilidade, assumindo igual importância entre os indicadores no alcance do objetivo final. No entanto, devido a um maior número de indicadores ambientais (3) em detrimento de um único indicador socioeconômico (1), o índice inviabilizou a representação adequada das diretrizes propostas pela ONU para avaliação de desenvolvimento sustentável, pois não representou de forma equitativa as esferas: ambiental, social e econômica necessárias para avaliação da sustentabilidade agrícola. Assim, passamos a usar uma solução alternativa, isto é, uma abordagem qualitativa.

Para a avaliação qualitativa da sustentabilidade agrícola, desenvolveu-se um estudo das relações entre extensificação e a ocorrência de queimadas em áreas de agricultura e pastagem no Oeste da Bahia. Estes resultados dentro do escopo do projeto PRODEAGRO complementam os estudos que avaliaram extensificação e uso da água/segurança hídrica (Pousa et al., 2019; Santos et al., 2020), e extensificação e estoques de carbono (Dionizio et al., 2020), favorecendo uma discussão qualitativa sobre a sustentabilidade agro-ambiental regional (Figura 3.3.3.e.1).

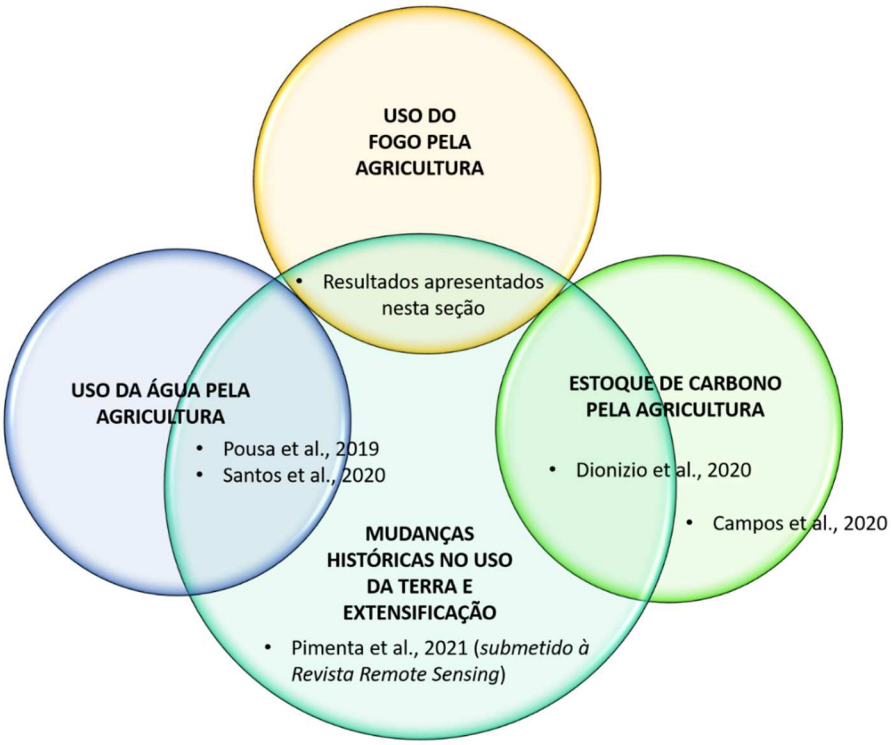

Figura 3.3.3.e.1 - Diagrama ilustrativo dos principais temas estudados nos projetos PRODEAGRO convênios n° 11/2016 e 045/2019 e de como os resultados apresentados nesta seção se vinculam as interfaces do projeto.

Nesta etapa avaliamos se os incêndios florestais têm relação direta com o desmatamento para a implementação da agricultura (extensificação). Os objetivos específicos foram verificar se há uma tendência de aumento na ocorrência de focos de fogo no Oeste da Bahia durante o período de 2001-2019, e caracterizar essas tendências e relações com a agricultura de sequeiro, agricultura irrigada e implantação de pastagens.

A metodologia utilizada consistiu na construção de uma base de dados de área queimada a partir do produto MCD45A1do sensor MODIS considerando uma resolução espacial de 500m para o período de 2002-2019 e no uso dos mapas de LULC da plataforma OBahia para identificação de áreas com mudança de uso do solo seguida da ocorrência de fogo. As classes de vegetação natural foram agrupadas em uma única classe identificada como NAT, enquanto as classes agrícolas como agricultura de sequeiro (*Rainfed agriculture* – RAG) mosaico de agricultura e pastagem (*Mosaic Agriculture/Pastureland* – MAP), agricultura Irrigada – IRR e Pastagem – PAST permaneceram como tais. Para avaliar as mudanças de uso do solo seguidas de fogo (MUSSF), usamos mapas de área queimada (500 m) para mascarar o banco de dados LULC (30m) e consideramos que todos os pixels de 30m localizados em um pixel com presença de foco de queimada havia uma ocorrência de incêndio. Para isso, verificamos qual classe de pixel LULC apresentou mudanças de classes de vegetação natural (NAT) para classes de agricultura (RAG, IRR e PAST) entre o ano (t-1) e ano (t) e verificou se esses pixels estavam em uma máscara área queimada. Assim, calculamos a área total de MUSSF para MAP, RAG, IRR e PAST e sem ocorrência de incêndio para todo o período.

Indicadores ambientais: A variação temporal do indicador $I_{Ext,}$ mostra que ao longo dos últimos 28 anos houve aumento da extensificação da agricultura em detrimento das áreas de vegetação natural em todos os municípios da região Oeste da Bahia comparado ao ano de 1990.

Na Bacia do Rio Grande, o município que apresentou maior extensificação foi Cotegipe com indicador I_{ext} igual a 64,56%, tendo 35,44% de vegetação natural convertida para uso agropecuário, seguido da cidade de Luís Eduardo Magalhães que aparece com I_{ext} igual 65,62% e com total de 34,38% de aumento nas áreas destinadas à agricultura e pastagem (Figura 3.3.3.e.2(2a)). Na Bacia do Rio Corrente os munícipios que se destacam com maior extensificação em 2018 são Correntina e Santana com I_{ext} iguais a 88,96% 77,60% enquanto na Bacia do Carinhanha a maior extensificação ocorreu em Feira da Mata e Montolvânia. Com relação ao estoque de carbono, os municípios que apresentaram maior diferença nos estoques totais em relação à 1990, e poderiam se considerados como menos sustentáveis do ponto de vista de armazenagem de estoque de carbono e em relação à 1990 foram Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães e Montolvânia com indicadores de 76,16%, 89,65%, e 91,63%, respectivamente (Figura 3.3.3.e.2(b)). Apesar de apresentarem valores menores em relação aos demais municípios, estes indicadores classificam a região com indicadores de sustentabilidade entre 76 e 91% colocando os municípios em categorias consideradas como "Alto" e "Muito alto" nível de sustentabilidade. O Indicador I_{fogo} não apresentou uma tendência de aumento ou redução nas áreas queimadas dos municípios ao longo dos anos analisados. Nota-se, no entanto, que nos anos 2007, 2010, 2012 e 2015 houve maiores percentuais de áreas queimadas em todos os municípios da região, sendo estas áreas mais evidentes em Cotegipe, Cristápolis, Feira da Mata e Mansidão (Figura 3.3.3.e.2).

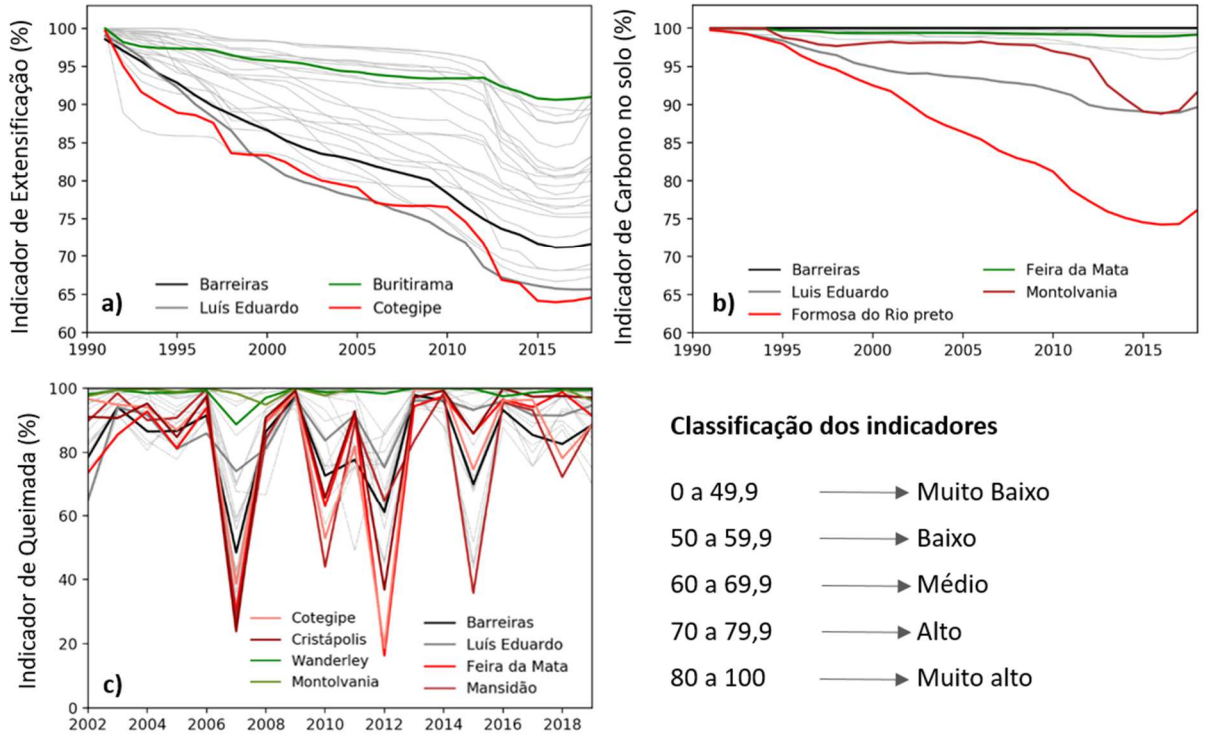

Figura 3.3.3.e.2 - Variação temporal dos indicadores de sustentabilidade ambiental em percentagem (%); (a) indicador de extensificação das áreas de agricultura; (b) indicador de carbono no solo, e (c) indicador de área queimada para 25 municípios do Oeste da Bahia. As linhas em vermelho destacam os municípios com menor sustentabilidade para o indicador comparado ao com maior sustentabilidade. E a linha verde destaca alguns municípios que apresentaram maior sustentabilidade para o indicador calculado.

Os resultados de IDHM mostraram que em 100% dos munícipios da região houve aumento do IDHM da categoria muito baixa (valores entre 0 e 0,49) para as classes baixa e média (valores entre 0,5 e 0,69), refletindo o aumento da longevidade da população, um crescimento ao acesso a conhecimento/educação e a melhoria ao acesso a uma renda financeira capaz de garantir as necessidades básicas. As cidades de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães foram as que experimentaram o maior crescimento do IDHM passando da classe "Muito baixo" para "Alto" passando de 0,408 e 0,391 em 1990, para 0,721 e 0,716 em 2010, respectivamente (Figura 3.3.3.e.3).

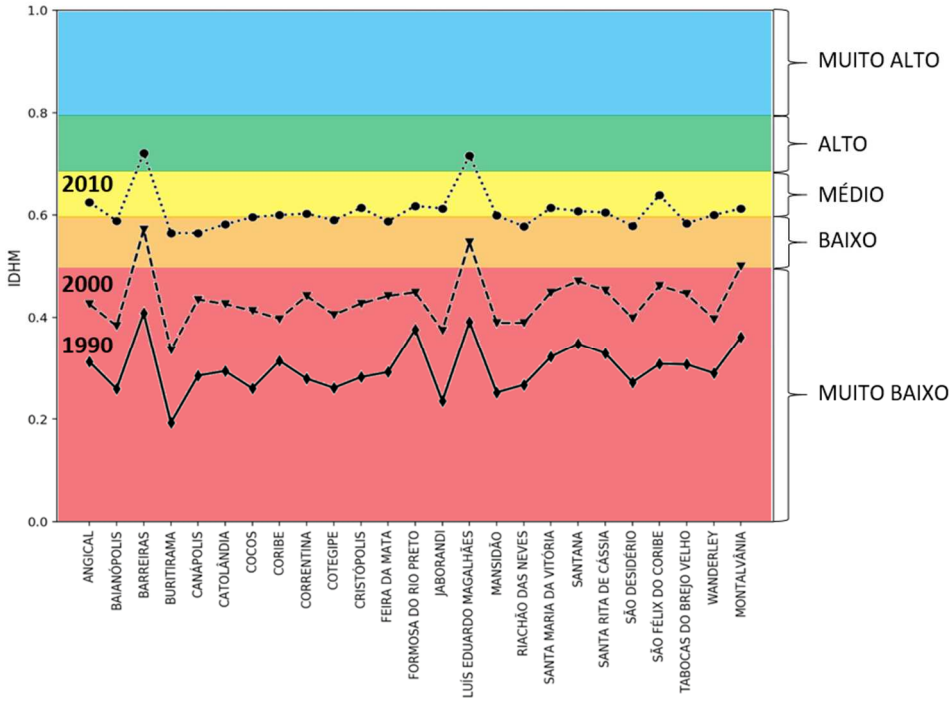

Figura 3.3.3.e.3 - Índice de desenvolvimento humano municipal para 25 municípios do Oeste da Bahia para os anos 1990, 2000 e 2010.

Avaliação qualitativa da sustentabilidade agrícola: Extensificação agrícola e uso do fogo: Observou-se que a ocorrência de fogo no Oeste da Bahia apresentou maiores áreas (pixels) com tendências negativas (decrescentes) de queimadas comparado a quantidade de áreas com tendências de focos de incêndio positivas (aumento) no período de 2001-2019 (Figura 3.3.3.e.4(a)). No entanto, os aumentos e decréscimos de ocorrência de queimadas na região significativos a $\alpha < 0,05$ ocorrem em poucas localidades da região (Figura 3.3.3.e.4(b)).

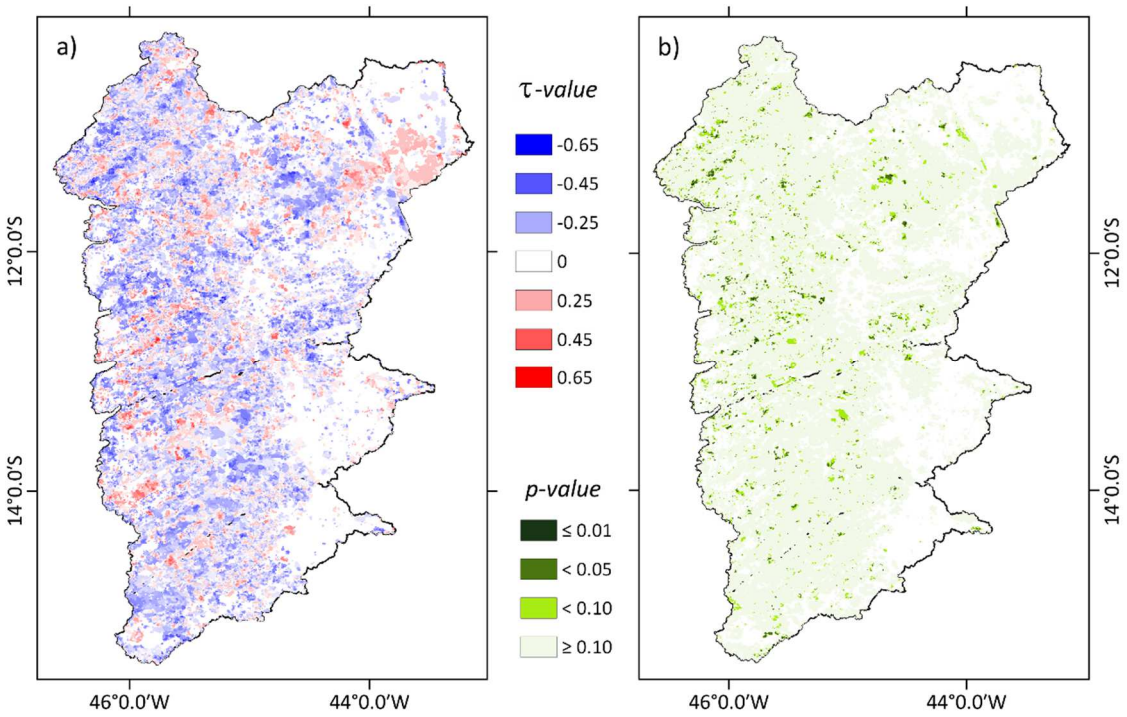

Figura 3.3.3.e.4 - Teste de tendência regional para ocorrência de queimadas no Oeste da Bahia realizado pelo método de Mann-Kendall para o período de 2001-2019. A Figura (a) mostra o valor de Mann-Kendall τ, e (b) o nível de significância da tendência.

As áreas totais com mudança de uso do solo seguidas da ocorrência de fogo (MUSSF) aumentaram entre 2002 e 2013, atingindo o maior valor em 2013 (605 km²) (Figura 3.3.3.e.5). Até 2012, mais de 70% da MUSSF total ocorria em áreas da RAG, com destaque para 2007, 2009 e 2010, quando essas MUSSF atingiram 94% (145 km²), 91% (123 km²) e 96% (182 km²) respectivamente. Após 2013, a ocorrência de incêndios nessas áreas diminuiu fortemente, atingindo o mínimo nos anos 2017-2018 (Figura 3.3.3.e.5). Padrões semelhantes foram observados nas áreas de PAST, que aumentaram a área total das MUSSF até 2013, atingindo a maior área queimada (392 km²) e apresentando queda nos anos subsequentes. A MUSSF para implantação de agricultura irrigada apresenta uma média de 6,8 km² por ano representando uma baixa fração da MUSSF. Além disso, os resultados mostraram que a MUSSF nas áreas de MAP aumentou após 2013, principalmente em 2019 e 2020, atingindo 41 km² e 26 km². No geral, uma média anual de 65% do total de focos de fogo ocorreu após a conversão de NAT para RAG, 17% de NAT para PAST, 11% de NAT para IRR e 7% de NAT para MAP. Esta análise inicial permite constatar um ponto muito importante, que é o fato de que majoritariamente a ocorrência de fogo após desmatamento acontece em áreas onde são implementadas agricultura de sequeiro (65%) e pastagens (11%), indicando que o uso do fogo como prática de limpeza do terreno é comum na região, seja pelo baixo custo financeiro e excelente capacidade de eliminar vegetação de forma rápida, ou devido a um hábito cultural.

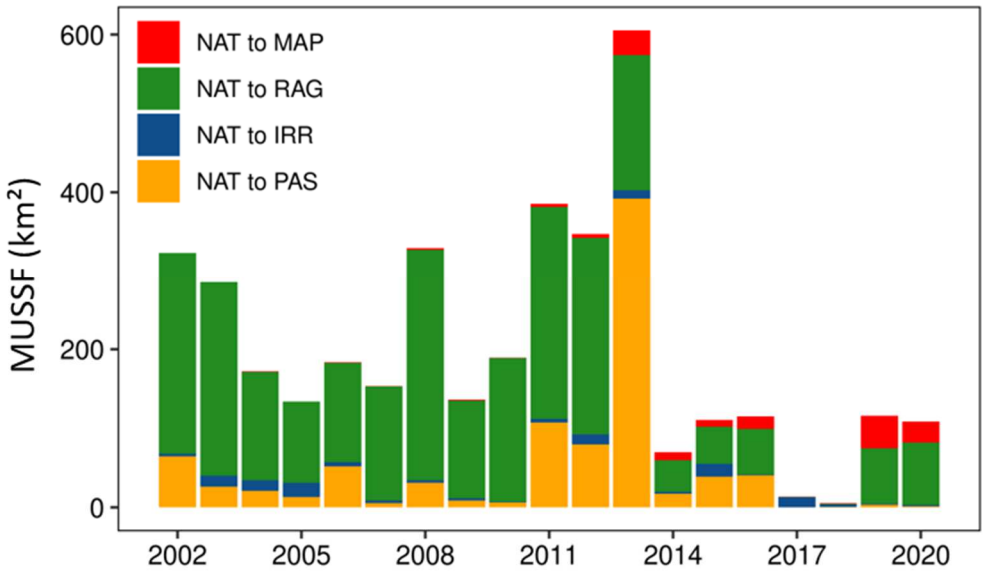

Figura 3.3.3.e.5 - Total de área da mudança de uso do solo (vegetação natural - NAT para práticas agrícolas - MAP, RAG, IRR, PAST) seguida da ocorrência de fogo- MUSSF no Oeste da Bahia para o período de 2002-2019. Essas áreas foram calculadas a partir do total de pixels LULC de 30 m filtrados pela máscara de área queimada.

Os padrões de MUSSF apresentaram tendências diferentes para as classes MAP, RAG, IRR e PAST (Figura 3.3.3.e.6(a-d)). A ocorrência de fogo após o desmatamento mostrou uma tendência de ligeiro aumento nas novas áreas de MAP (Figura 3.3.3.e.6(a)), uma tendência decrescente nas novas áreas de RAG e IRR (Figura 3.3.3.e.6(b-c)) e nenhuma tendência em novas áreas de PAST (Figura 3.3.3.e.6(d)) quando comparado à total área desmatada. A MUSSF para novas áreas de MAP foi inferior a 10% da área total desmatada na maior parte do período estudado, exceto em 2016 e 2019 quando a MUSSF atingiu 16,3% e 9,24%, respectivamente (Figura 3.3.3.e.6(a)). Para novas áreas de RAG, nossos resultados mostraram que 15-30% da área total desmatada foram seguidos por incêndios entre 2002-2013. Após 2013, houve uma diminuição nas áreas de MUSSF variando entre 17% e 4,17% da área total desmatada (Figura 3.3.3.e.6(b)).

O MUSSF em áreas de IRR recém implementadas variou de 34,9% do total desmatado a 3,79% entre 2002-2019 (Figura 3.3.3.e.6(c)). Essas MUSSF tiveram alta variabilidade entre 2002-2019 e mostraram que a maior parte do período teve 20% da área total desmatada seguida de incêndio. A MUSSF para implementação de PAST não apresentou tendência ao longo do período de estudo e variando entre 5% e 15% do total desmatado na maior parte dos anos com exceções para 2008 e 2011 quando MUSSF atingiu 20% e 21%, respectivamente.

Esta redução de queimadas evidenciada nas áreas de RAG e IRR podem ser associadas a diferentes mecanismos. O primeiro mecanismo que contribuiu para a redução do uso do fogo em áreas recém suprimidas foi o contexto político-ambiental com a implementação do novo código florestal brasileiro (Lei Federal 12.651 de 25 de maio de 2012), o qual alterou as normativas para implementação de novas áreas agrícolas, freando a expansão do desmatamento. Diante de novas medidas, menores áreas de vegetação natural suprimidas anualmente pós 2012 comparado ao período de 1990 e 2012 (Pimenta et al. 2021), reduzindo consequentemente a área total disponível para queima. Nossos resultados mostram também que o ano de 2013 foi o ano com maior ocorrência de mudança de uso de solo seguida de queima (Figura 5), o que

poderia ser explicado pela necessidade de cumprimento das concessões de supressão de vegetação nativa deferidas anteriormente a implementação do novo código florestal.

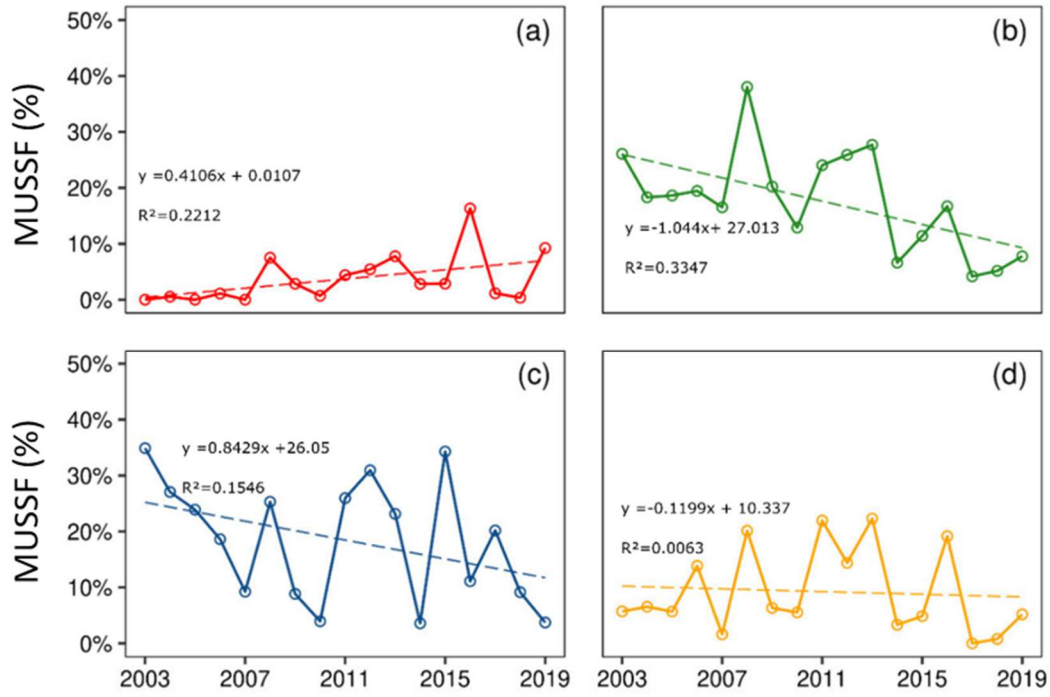

Figura 3.3.3.e.6 - Porcentagem de mudança de cobertura do solo seguido pela ocorrência de fogo - MUSF em relação à área total de mudanças de cobertura da terra para (a) mosaico de agricultura ou pastagem - MAP, (b) agricultura de sequeiro - RAG, (c) agricultura irrigada - IRR e (d) áreas de pastagem - PAST.

O segundo mecanismo, pode ser associado a um contexto político-ambiental-econômico, onde o produtor passou a investir em mais tecnologias de irrigação e converter áreas anteriormente usadas em agricultura de sequeiro para agricultura irrigada (Pimenta et al., 2021), evitando a necessidade de autorização de supressão de novas áreas, reduzindo os custos de correção inicial do solo, e possibilitando o aumento do número de safras no ano dependendo do tipo de cultura a ser plantado.

No geral, a redução da ocorrência de fogo em áreas recém suprimidas para RAG e IRR entre 2002 e 2019, mesmo em um cenário de expansão destas práticas descrito por Dionizio et al., (2020) e Pimenta et al. 2021, revela um menor uso do fogo como manejo para abertura de novas áreas e consequentemente um comportamento mais sustentável do ponto de vista de emissões de gases de efeito estufa e de preservação do solo. O novo Código Florestal e o crescimento da agricultura irrigada parecem ser importantes fatores que contribuíram para frear a supressão de vegetação nativa para implementação de novas áreas agrícolas e consequentemente reduzir o uso do fogo na região tornando a agricultura mais sustentável. Vale ressaltar que este estudo, no entanto, não avaliou a frequência de queimada a qual as áreas consolidadas de MAP, RAG, IRR e PAST, são expostas ao longo do tempo, não permitindo opinar se o uso do fogo para manutenção destas áreas tem ocorrido de forma sustentável.

(f) Governança

A ferramenta de Governança da plataforma OBahia (disponível em http://obahia.dea.ufv.br/#/governance) está estruturada em 3 pontos principais. Primeiramente, apresenta um resumo das ações de governança no âmbito do projeto, identificando sua justificativa e seus objetivos, seu enfoque em inovação, os impactos sociais e ambientais, seu potencial de impacto e difusão, identificação de ações para a sustentabilidade e adesão social.

Além do resumo das ações de governança, a ferramenta reúne informações técnicas e científicas acerca da agricultura e disponibilidade de recursos hídricos em base temporal e regional para contribuir com o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada e segurança hídrica da região Oeste. Esses dados são de grande relevância na discussão com os gestores e parceiros do governo municipal, estadual e federal, dos comitês de bacia, das universidades e faculdades, organizações não governamentais e outros na definição de estratégias e ações para o desenvolvimento da agricultura irrigada com segurança hídrica. Estão disponíveis no Servidor de Mapas da plataforma OBahia (abas Produtos de Terceiros > Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística > IBGE Cidades ou Censo Agropecuário 2017) uma lista de mapas para a visualização de estatísticas municipais de variáveis agrícolas (Quadro 3.3.3.f.1).

Quadro 3.3.3.f.1 - Lista de mapas para visualização de estatísticas municipais de variáveis agrícolas disponíveis na ferramenta de governança da plataforma OBahia.

População residente estimada - 2020	População residente - Censo 2010	Densidade demográfica 2010
Produto Interno Bruto - 2018	Produto Interno Bruto per capita - 2018	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - 2010
Área do município	Hierarquia urbana	Região geográfica intermediária
Região geográfica imediata	Mesoregião	Microrregião
Regiões de influência	Estabelecimentos Agropecuários	Área média
Pessoal Ocupado / Estabelecimento	Área lavoura / Adubadeira	Área lavoura / Colheitadeira
Área lavoura / Semeadeira	Área lavoura / Trator	Atividade Econômica - Lavoura Temporária
Atividade Econômica - Lavoura Permanente	Atividade Econômica - Pecuária	Atividade Econômica - Horticultura & Floricultura
Atividade Econômica - Sementes & Mudas	Atividade Econômica - Produção Florestal	Atividade Econômica - Pesca
Atividade Econômica - Aquicultura	Uso das terras - Lavoura	Uso das terras - Pastagem
Aves - Corte	Aves - Ovos	Bovinos - Corte
Bovinos - Leite	Rendimento - Arroz	Rendimento - Cana
Rendimento - Mandioca	Rendimento - Milho	Rendimento - Soja
Rendimento - Trigo	Rendimento - Cacau	Rendimento - Café
Rendimento - Laranja	Rendimento - Uva	Carga de Bovinos
Cisterna	Utilização de Agrotóxicos	Despesa com Agrotóxicos
Uso de irrigação	Assistência Técnica	Agricultura familiar
Produtor com escolaridade até Ensino Fundamental		

Finalmente, na ferramenta de governança estão disponíveis para download em formato de Sistema de Informações Geográficas (SIG) os mapas anuais da Produção Agrícola Municipal, no período de 1974 a 2019, para os municípios que incluem as bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha, incluindo municípios do Oeste da Bahia e do Norte de Minas Gerais que fazem parte da Bacia do Carinhanha. Os mapas estão disponíveis para as seguintes culturas: algodão, café, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja.

Figura 3.3.3.f.1 - Tela inicial da ferramenta de Governança da plataforma OBahia.

(g) Lucratividade Rural

A ferramenta de Lucratividade Rural da plataforma OBahia (disponível em http://obahia.dea.ufv.br/#/ruralprofitability) apresenta a descrição e o link para download de um modelo de otimização econômica da atividade agrícola considerando o regime hídrico e disponibilidade de outorga regional.

O modelo de programação linear proposto é uma maximização econômica da atividade agrícola, considerando as respostas dadas pelo modelo de previsão do início da estação chuvosa e pode ser aplicado em nível de fazenda, município ou região. O modelo pode ser utilizado de forma livre e auxilia o processo de tomada de decisão acerca do plantio, visando melhor uso de recursos hídricos e maior lucratividade final.

Figura 3.3.3.g.1 - Tela inicial da ferramenta de Lucratividade Rural da plataforma OBahia com os links para download do manual e do modelo de lucratividade rural.

3.4 Produto 3.2: Transferência de Tecnologia e Capacitações

3.4.1. Treinamentos e Transferência de Tecnologia sobre o Sistema de Inteligência Territorial para o Oeste da Bahia

Neste produto foram previstas atividades para a promoção de transferência de tecnologia e difusão de conhecimento e treinamentos acerca do Sistema de Inteligência Territorial e do Sistema de Previsão Hidroclimática para o Oeste da Bahia desenvolvidos neste projeto. Mais especificamente, as atividades originalmente previstas no projeto estão listadas a seguir:

(i) Preparação de material de divulgação sobre o Sistema de Inteligência Territorial e o Sistema de Previsão Hidroclimática para o Oeste da Bahia, com o intuito de despertar o interesse da comunidade sobre os assuntos de previsão hidroclimática e inteligência territorial;

(ii) Apresentação de palestras durante o Bahia Farm Show 2020 e 2021 sobre o Sistema de Inteligência Territorial para o Oeste da Bahia e Sistema de Previsão Hidroclimática, realizadas para pessoas interessadas no sistema, com intuito de despertar o interesse da comunidade local e disponibilizar material básico sobre o assunto durante o evento;

(iii) Realização de oficinas sobre o Sistema de Inteligência Territorial e o Sistema de Previsão Hidroclimática para o Oeste da Bahia, com objetivo de capacitar cerca de 20 pessoas (dentre técnicos do governo estadual, técnicos e representantes da AIBA e universidades) em uma manhã de palestras seguida por uma tarde de treinamento do sistema e website desenvolvido neste projeto.

No entanto, devido às medidas de distanciamento social necessárias ao controle da transmissão do novo coronavírus e do avanço da pandemia de COVID-19, os eventos previstos foram cancelados e estas atividades não puderam ser realizadas. Porém, nossa equipe está disposta a realizar estas atividades em momento oportuno, em que os encontros presenciais sejam novamente seguros a toda a comunidade.

Enquanto isso, nossa equipe preparou uma sequência de dez vídeos que está disponível no Portal OBahia (obahia.dea.ufv.br), na aba "Informações adicionais" e no canal do Youtube do Grupo de Pesquisas em Interação Atmosfera-Biosfera para apresentar o Sistema de Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia e suas diferentes ferramentas e funcionalidades. Dois vídeos são mais longos, com duração entre 10 e 14 minutos, e os demais tem uma duração média de 5 minutos cada um. Uma descrição dos vídeos e seu link de acesso são apresentados a seguir:

1. Introdução ao OBahia:

O primeiro vídeo da série apresenta uma visão geral e introdutória da plataforma OBahia, destacando seu histórico, aplicação, características e funcionalidades. A tela inicial do portal e seus principais botões são apresentados. É exibido um exemplo de aplicação, em que a utilização combinada de dados de diferentes ferramentas permite auxiliar a tomada de decisão na região. O vídeo introdutório apresenta a lista de todas as ferramentas disponíveis, embora a apresentação detalhada de cada ferramenta e de suas funcionalidades seja realizada em vídeos subsequentes. O vídeo de Introdução a OBahia tem a duração de 10:30 e está disponível em: https://youtu.be/eTRozu4gt4U

2. Servidor de Mapas:

O segundo vídeo da série apresenta o Servidor de Mapas da plataforma OBahia, mostrando a interface com as camadas/mapas disponíveis dentro de três categorias principais: (i) produtos gerados no âmbito do projeto, (ii) produtos de terceiros e (iii) imagens de satélite. O vídeo descreve as opções de acesso e customização da apresentação das camadas disponíveis, bem como opções de download de dados e metadados. Há ainda a apresentação de diferentes ferramentas de análise, que permitem a geração de figuras, análise de dados por aplicação de filtros, e estimativas de extensão e área de feições de interesse. É exibido um exemplo de aplicação, em que feições de diferentes categorias são apresentadas em conjunto para auxiliar a tomada de decisão. O vídeo do Servidor de Mapas tem a duração de 13:44 e está disponível em: https://youtu.be/zHribwpkryo

3. Séries Temporais de Cobertura e Uso do Solo

O terceiro vídeo apresenta a ferramenta de Séries Temporais de Cobertura e Uso do Solo, que fornece mapas de cobertura e uso do solo para o período de 1990 a 2020. As classes de cobertura e uso do solo são: Formações florestais, Formações savânicas, Formações campestres, Mosaico de agricultura ou pastagem, Agricultura de sequeiro, Agricultura irrigada, Pastagem, Corpos d'água, Área urbana/Construções rurais. O vídeo apresenta a organização geral da ferramenta e a opção de customização das análises para diferentes níveis, como o regional, por bacia hidrográfica, por área de drenagem e por municípios. Além dos mapas, são apresentadas análises gráficas da série temporal, além das opções de download dos dados. Por fim, é exibido um exemplo para a área de drenagem do Rio Grande. O vídeo da ferramenta de Séries Temporais de Cobertura e Uso do Solo tem a duração de 6:37 e está disponível em: https://youtu.be/0s1iNNinIA0

4. Séries Temporais de Estoque de Carbono

O quarto vídeo apresenta a ferramenta de Séries Temporais de Estoque de Carbono, que fornece mapas de biomassa acima e abaixo do solo, além do estoque de carbono no solo para o período de 1990 a 2018. O vídeo apresenta a organização geral da ferramenta e a opção de customização das análises para diferentes níveis, como o regional, por bacia hidrográfica, por área de drenagem e por municípios. Além dos mapas, são apresentadas análises gráficas da série temporal, além das opções de download dos dados. O vídeo da ferramenta de Séries Temporais de Estoque de Carbono tem a duração de 4:26 e está disponível em: https://youtu.be/0Zklepemojc

5. Séries Temporais de Áreas Irrigadas

O quinto vídeo apresenta a ferramenta de Séries Temporais de Áreas Irrigadas, que fornece mapas de valores de lâmina irrigada por pivô central, evapotranspiração real e área efetivamente irrigada para o período de 1990 a 2020. O vídeo apresenta a organização geral da ferramenta e a opção de customização das análises para diferentes níveis, como o regional, por bacia hidrográfica, por área de drenagem e por municípios. Além dos mapas, são apresentadas análises gráficas da série temporal, além das opções de download dos dados. O vídeo da ferramenta de Séries Temporais de Áreas Irrigadas tem a duração de 5:43 e está disponível em: https://youtu.be/o0rfFoBDfYI

6. Previsão do Início da Estação Chuvosa

O sexto vídeo apresenta a ferramenta de Previsão do Início da Estação Chuvosa, com o objetivo de auxiliar o usuário a acessar e interpretar as previsões de início da estação chuvosa fornecidas pelo modelo CFSv2 disponibilizado pelo NCEP/NOAA. É mostrado um exemplo para diferentes pontos, incluído a estimativa do erro médio associado à previsão. São apresentadas camadas auxiliares e opções de download dos dados. O vídeo da ferramenta de Previsão do Início da Estação Chuvosa tem a duração de 4:26 e está disponível em: https://youtu.be/DrF1ZfJYPmg

7. Previsão de Vazões Mínimas e Estresse Hídrico

O sétimo vídeo da série apresenta a ferramenta de Previsão de Vazões Mínimas e Estresse Hídrico. Este vídeo detalha o acesso e interpretação das previsões de vazões mínimas anuais para as estações da ANA com telemetria nas bacias do Rio Grande e Rio Corrente, e o status de estresse hídrico previsto. São apresentados exemplos de estações com previsão de baixo, médio e elevado estresse hídrico. O vídeo da ferramenta de Previsão de Vazões Mínimas e Estresse Hídrico tem a duração de 4:17 e está disponível em: https://youtu.be/ldUHpPZ5usQ

8. Lucratividade Rural

O oitavo vídeo da série apresenta a ferramenta de Lucratividade Rural. Este vídeo aborda a descrição da ferramenta e apresenta os arquivos disponibilizados para download. A planilha de otimização é apresentada e um exemplo é executado. Há também a apresentação do manual do modelo de lucratividade rural. O vídeo desta ferramenta tem a duração de 5:44 e está disponível em: https://youtu.be/tPn7WuLdxSI

9. Visualização de Dados do Modelo de Águas Subterrâneas

O nono vídeo da série apresenta a ferramenta de Visualização de Dados do Modelo de Águas Subterrâneas, que mostra mapas de elevação do terreno, espessura do Sistema Aquífero Urucuia, e de carga hidráulica para as bacias do Médio Rio Grande, Alto Rio Grande, Rio Corrente e Rio Carinhanha. São apresentadas as opções de recorte regional e a análise gráfica do balanço para as bacias, além das opções de download dos dados. O vídeo desta ferramenta tem a duração de 5:17 e pode ser acessado através do link: https://youtu.be/HfmZf-lrqN4

10. Governança

O décimo e último vídeo da série apresenta a ferramenta de Governança. São apresentadas informações do projeto, uma listagem e links de acesso aos artigos científicos resultantes das atividades do projeto, bem como 52 mapas de mapas municipais com as principais estatísticas técnicas, econômicas e sociais do IBGE. É exibido um exemplo de aplicação a partir do acesso aos dados do Produto Interno Bruto de 2018. O vídeo da ferramenta de Governança tem a duração de 4:39 e pode ser acessado em: https://youtu.be/nzum5muG9eI

Estes vídeos têm duração máxima de 15 minutos e apresentam de forma clara e objetiva as funcionalidades de cada ferramenta do OBahia. Eles poderão ser compartilhados e visualizados por toda a comunidade e facilitarão o conhecimento e a utilização das ferramentas a todos os interessados.

3.4.2 Publicação de Artigos Científicos sobre os Recursos Hídricos da Região

(a) Publicação de artigo científico sobre uso consuntivo de água para irrigação nas Bacias do Rio Grande, Corrente e Carinhanha.

Santos, A.B.; Costa, M.H.; Mantovani, E.C.; Boninsenha, I.; Castro, M., 2020. A remote sensing diagnosis of water use and water stress in a region with intense irrigation growth in Brazil. Remote Sensing, 12, 1–16. https://doi.org/10.3390/rs12223725

(b) Publicação de artigo científico e banco de dados sobre balanço de carbono nas Bacias do Rio Grande, Corrente e Carinhanha.

Dionizio, E.A.; Pimenta, F.M.; Lima, L.B.; Costa, M.H., 2020. Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. PLoS ONE 15(11), e0241637. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241637

Dionizio, E.A.; Pimenta, F.M.; Lima, L.B.; Costa, M.H., 2020. Historical carbon stocks database for Western Bahia (1990-2018). PANGAEA, https://doi.org/10.1594/PANGAEA.923885

(c) Publicação de artigo científico sobre expansão da agricultura nas Bacias do Rio Grande, Corrente e Carinhanha

Pimenta, F. M.; Speroto, A. T.; Costa, M. H.; Dionízio, E. A., 2021. Historical Changes in Land Use and Suitability for Future Agriculture Expansion in Western Bahia, Remote Sensing, v. 13, p.1088. https://doi.org/10.3390/rs13061088

3.5 Referências

Barbosa, H.A.; Huete, A.R.; Baethgen, W.E., 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. Journal of Arid Environments, 67, 288–307. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022

Campos, R.; Pires, G.F.; Costa,M.H., 2020. Soil carbon sequestration in rainfed and irrigated production systems in a new Brazilian agricultural frontier. Agriculture, 10, 156; https://doi.org/10.3390/agriculture10050156

Dionizio, E.A.; Pimenta, F.M.; Lima, L.B.; Costa, M.H., 2020. Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. PLoS ONE 15(11), e0241637. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241637

Franek, J; Kresta, A., 2014. Judgment Scales and Consistency Measure in AHP. Procedia Economics and Finance, 12, 164–73. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00332-3

Karthikeyan, L.; Chawla, I.; Mishra, A.K., 2020. A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation, and crop losses. Journal of Hydrology, 586. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905

Landau, E.C.; Guimarães, D.P.; Souza, D.L., 2014. Concentração de áreas irrigadas por pivôs no Oeste da Bahia. In Proceedings of the Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto—GEONORDESTE 2014, Aracajú, Brazil, 18–21.

Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S.W., 2013. MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (MOD16A2/A3). Algorithm Theoretical Basis Document Collection 5. Available online: https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/ MOD16ATBD.pdf (acessado em 20 de abril de 2020)

Pereira, O.; Ferreira, L.; Pinto, F.; Baumgarten, L., 2018. Assessing pasture degradation in the brazilian cerrado based on the analysis of MODIS NDVI time-series. Remote Sensing, 10, 1–14. https://doi.org/10.3390/rs10111761

Pimenta, F. M.; Speroto, A. T.; Costa, M. H.; Dionízio, E. A., 2021. Historical changes in land use and suitability for future agriculture expansion in Western Bahia, Brazil. Submetido para publicação no periódico científico Remote Sensing.

Pousa, R.; Costa, M. H.; Pimenta, F. M.; Fontes, V. C.; Brito, V. F. A.; Castro, M., 2019. climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring. Water 11(5), 933. https://doi.org/10.3390/w11050933

Romano, G.; Dal Sasso, P.; Liuzzi, G. T.; Gentile, F., 2015. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of southern Italy. Land Use Policy, 48, 131–43 https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.013

Santos, A.B.; Costa, M.H.; Mantovani, E.C.; Boninsenha, I.; Castro, M., 2020. A remote sensing diagnosis of water use and water stress in a region with intense irrigation growth in Brazil. Remote Sensing, 12, 1–16. https://doi.org/10.3390/rs12223725

Yager, R. R.; Kacprzyk, J, 1997. The ordered weighted averaging operators: theory and applications. eds. Ronald R. Yager e Janusz Kacprzyk. Boston, MA: Springer US. DOI: 10.1007/978-1-4615-6123-1

Yager, R.R., 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 18(1), 183–90. doi: 10.1109/21.87068.

Yager, Ronald R. 1997. On the inclusion of importances in OWA aggregations. em “The ordered weighted averaging operators, Boston, MA: Springer US, 41–59. DOI: 10.1007/978-1-4615-6123-1

Parte 4
Águas Subterrâneas

Equipe: Eduardo Antonio Gomes Marques (Coordenador)
Gerson C. da Silva Junior (Coordenador)
Glauco Zely da Silva Eger
Diana Gomes Tabach Bustamante da Rocha
Bernardo R. Leão

SUMÁRIO

4.1 RESUMO EXECUTIVO 89

4.2 INTRODUÇÃO 90

4.3 METODOLOGIA 92
4.3.1 Levantamento de Propriedades Hidráulicas do SAU 92
4.3.2 Métodos de Estimativa de Recarga 95

4.4. RESULTADOS 117
4.4.1 Testes de Bombeamento 117
4.4.2 Estimativa de Recarga 121
4.4.3. Atualização do Modelo Numérico 132

4.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA 151

4.6 OUTRAS ATIVIDADES 152

4.7 CONCLUSÕES 152

4.8 BIBLIOGRAFIA 153

4.1 RESUMO EXECUTIVO

Este relatório apresenta as atividades e resultados do projeto "Aperfeiçoamento do Modelo Numérico de Fluxo do Sistema Aquífero Urucuia e Avaliação de Cenários de Explotação Futuros" desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa e Universidade Federal do Rio de Janeiro e financiado pela AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes do Oeste da Bahia via PRODEAGRO (Programa para Desenvolvimento da Agropecuária).

A região Oeste do Estado da Bahia tem passado nas últimas décadas por um intenso desenvolvimento da atividade agrícola, em especial a agricultura irrigada, por meio de recursos hídricos provenientes de mananciais superficiais e subterrâneos. Esses mananciais têm uma origem comum, o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), que se estende por toda a região, abrangendo também os Estados de Piauí, Tocantins, Goiás, e Minas Gerais, com uma área total de 120.000 km^2, sendo aproximadamente 82.000 km^2 na Bahia.

Os trabalhos aqui desenvolvidos representam a continuação do estudo realizado anteriormente pela equipe da UFV-UFRJ, exclusivamente para área do SAU no estado da Bahia, no qual levantaram-se as características básicas do aquífero e realizaram-se simulações com o software Visual MODFLOW Classic, com a versão Modflow-2005. O presente estudo contou com a valiosa participação da AIBA, CPRM e órgãos do governo da Bahia (INEMA, SEAGRI etc.) contemplando o levantamento de informações hidráulicas do SAU por meio de testes de bombeamento{4.3.1.1} e por dados secundários {4.3.1.20}, além do cálculo da recarga ao aquífero pelos métodos de Variação do Nível d'Água (VNA ou WTF, na sigla em inglês: Water Table Fluctuation) {0} e, do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) {4.3.2.2}, envolvendo as águas superficiais, melhorando e proporcionando maior segurança às estimativas realizadas na etapa anterior (Mantovani et al., 2019 e Marques et al., 2020). Essas informações foram utilizadas para atualização do modelo conceitual e do modelo numérico do Sistema Aquífero Urucuia {4.3.2.1}.

O código numérico adotado foi o MODFLOW-USG (Panday et al., 2017), modelo de diferenças finitas do Serviço Geológico Americano (USGS) {4.3.3.20; 4.3.3.3}. Nesta versão atualizada do modelo do SAU foi adotada a malha desestruturada do tipo Voronoi {4.3.3.4; 4.3.3.4.2}, que permite um melhor refinamento/detalhamento próximo a feições de interesse como poços e rios da região. Para as simulações de fluxo foi utilizado software de pré/pós-processamento Visual MODFLOW Flex da Waterloo Hydrogeologic Inc. A decisão de realizar as simulações especificamente com esse software envolveu um detalhado processo de seleção, tendo-se em conta o estado-da-arte da modelagem neste tipo de aquífero, a disponibilidade de códigos mais atualizados, com o uso da versão mais recente do MODFLOW e a necessidade de melhor simular a interação aquífero-rios e aquífero-poços de bombeamento. Também levou-se em conta as grandes dimensões do SAU e as limitações de memória e capacidade de processamento das máquinas utilizadas pelos futuros usuários potenciais dos resultados do modelo {4.3.3.1; 4.3.3.3.; 4.3.3.4}.

A metodologia utilizada contemplou um complemento da revisão bibliográfica sobre a hidrogeologia da área de interesse do SAU, a realização de novos testes de bombeamento em áreas carentes de informações, bem como o uso de variadas técnicas para estimativas de recarga. Estes dados foram então atualizados no Visual Modflow, utilizando-se uma malha do tipo Voronoi, que permite um maior refinamento de detalhamento da malha em pontos de interesse (margens de rio, poços e seus arredores etc.).

Como resultado{4.4}, com base nos dados de diversos novos testes de bombeamento, realizou-se uma atualização do modelo conceitual – em especial em relação aos parâmetros

hidrodinâmicos do aquífero; obteve-se, com base nos resultados apresentados, a recarga estimada por diversos métodos em áreas de detalhe (sub-bacias) na bacia rio Grande (próximo à cabeceira do rio), que foi de 215,2 mm (21,7%), e do rio Corrente, de 295,5 mm (29,7%), ambas referenciadas ao volume médio precipitado no período entre 2011 e 2019. Os valores estimados pela modelagem com o SWAT {4.4.2.2} se mostram semelhantes aos estimados em diversos poços nas mesmas regiões com o método WTF {4.4.2.1}. Elaboraram-se, ainda, quatro novos modelos hidrogeológicos: um modelo geral, para toda a área do SAU na Bahia, e outros três, de menor tamanho, para sub-bacias selecionadas conforme características relevantes {0}, nas quais foram realizadas simulações visando avaliar a implantação de novas baterias de poços em diferentes condições de bombeamento{4.4.3.2}, e seus efeitos sobre o rebaixamento do NA no SAU. Ao final, considerando os dados de recarga calculados para toda a área pelo Visual Modflow e balanço hídrico, foi possível determinar a reserva explotável, de 20% da recarga, tendo sido obtido um valor estimado de 3,72 km^3/ano, equivalente a cerca de 45 mm/ano de lâmina de água em todo o território {4.5}.

4.2 INTRODUÇÃO

No período de fevereiro de 2017 a fevereiro de 2019 realizou-se um estudo intitulado "Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha", correspondente à porção do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) localizada no estado da Bahia (Mantovani et al., 2019). Na parte do referido estudo, que compreendeu o estudo hidrogeológico do SAU, coletaram-se dados de campo e também em instituições de pesquisa e universidades, empresas e agências do governo – ANA e CPRM, e órgãos do estado da Bahia – INEMA e CERB. Esses dados foram utilizados para a elaboração de um modelo hidrogeológico conceitual e numérico do SAU, dividido em quatro modelos de detalhe em suas três principais bacias hidrográficas: rio Grande (Alto e Médio cursos) e rios Corrente e Carinhanha.

No presente Relatório Técnico apresentam-se os resultados da Segunda Etapa do estudo, compreendendo uma atualização do modelo conceitual, novos estudos de estimativa de recarga e melhorias no modelo numérico com um maior detalhamento da interação água superficial – água subterrânea, apresentadas nos demais capítulos itens dessa parte. Houve a continuidade do levantamento de informações hidráulicas do SAU por meio de testes de bombeamento e atualização dos dados secundários, além do cálculo da recarga ao aquífero pelo método de Variação do Nível d'Água (VNA) incluindo também as águas superficiais, com a aplicação do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), conferindo mais confiança às estimativas realizadas na etapa anterior.

A agricultura brasileira tem utilizado águas subterrâneas em larga escala como insumo, embora o conhecimento sobre os sistemas aquíferos seja ainda incipiente. Por outro lado, embora seja reconhecido o potencial de expansão do uso dos recursos hídricos subterrâneos para uso humano, agrícola e industrial em nosso país, faltam elementos para que esse processo ocorra com conhecimento científico e segurança hídrica (Simas, 1988; Hirata e Varnier, 1998; Hirata et al., 2019; WWAP, 2012). Pelas informações relativas a 2010, a captação das águas subterrâneas mundiais está estimada em cerca de 1.000 km^3 por ano, e cerca de 67% dessas águas são usadas para a irrigação, 22% para fins domésticos e 11% para fins industriais. Em nosso país, o uso de água subterrânea para irrigação corresponde a apenas 24% do volume extraído, o que nos coloca, mesmo em termos de volumes absolutos, atrás de países como Bangladesh, México e Arábia Saudita. O percentual de uso de água subterrânea na agricultura

varia bastante, mas estamos bem atrás da Índia (89%), China (54%), EUA (71%) e Paquistão (94%), os quatro principais usuários de água subterrânea em termos absolutos. O Brasil, com um território *grosso modo* duas vezes e meia maior que o da Índia, usa dez vezes menos recursos hídricos subterrâneos que aquele país, em termos absolutos (Hirata et al., 2019).

Neste contexto, o Sistema Aquífero Urucuia, que ocorre principalmente na Região Oeste do estado da Bahia, estendendo-se desde o extremo sul do Maranhão e Piauí, até o extremo noroeste de Minas Gerais, tem águas de excelente qualidade, grandes volumes armazenados e altas transmissividades, permitindo a implantação de poços de grande vazão, atributos que fazem desse aquífero um objeto de interesse da agroindústria. O SAU abrange cerca de 82.000 km^2 da região oeste do território baiano e representa o principal manancial subterrâneo regional, com grande importância estratégica, econômica e ambiental, devido à sua função de regulador das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco e nascentes da margem direita do rio Tocantins.

O modelo conceitual da área, elaborado na etapa anterior e aperfeiçoado no presente estudo, indica que se trata de um sistema aquífero de porosidade granular, com uma espessura do pacote sedimentar que pode ultrapassar em algumas porções os 400 m de profundidade, comportamento predominantemente livre e que, em toda a área do Urucuia baiano, apresenta um fluxo subterrâneo principal de oeste para leste, com um divisor subterrâneo próximo à escarpa do limite oeste (fronteira da Bahia com Tocantins e Goiás).

O trabalho de modelagem numérica anterior, realizado com o auxílio do *software* Modflow (USGS, 1985), em sua versão comercial *Visual Modflow* Classic, iniciou-se com simulações em estado estacionário e em um modelo com três camadas, para calibração dos parâmetros e compreensão da dinâmica de fluxo. As cargas hidráulicas calculadas no modelo estacionário foram utilizadas como cargas iniciais do modelo transiente. O modelo transiente foi realizado inicialmente com a simulação do intervalo de tempo transcorrido entre os anos 2008 a 2017. Para a calibração foram utilizados os dados da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os resultados foram expressivos e as simulações obtiveram boa calibração, permitindo avaliar com segurança os recursos hídricos disponíveis, reservas renováveis e comportamento geral do aquífero.

O trabalho atual apresenta uma atualização do modelo conceitual, devido ao aporte de novos dados obtidos por meio de trabalho de campo com a realização de novos testes de bombeamento; de um melhor detalhamento das condições de recarga por meio de metodologias modernas e precisas, como o modelo *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) (*USDA ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory* e *Texas A&M AgriLife Research*, 2018) e pelo método de Variação do Nível d'água (VNA) (método revisado por Healy e Cook, 2002); e por meio de uma melhor discretização vertical do SAU, com base na subdivisão do mesmo em seis camadas, em contraste com as três camadas do modelo anterior. Adicionalmente, foram realizadas diversas melhorias no modelo numérico, com uma versão atualizada e com mais recursos do Modflow (MODFLOW-USG, por Panday et al., 2017), possibilitando um maior refinamento próximo a condições de contorno de interesse, por exemplo rios e poços. Isso permitiu detalhar a interação água superficial - água subterrânea, proporcionando uma melhor representatividade das condições reais de campo.

A Parte 4 do presente relatório está subdividida em 6 capítulos, nos quais descrevem-se os principais tópicos de interesse. No Capítulo 2 apresenta-se em detalhes o conjunto de materiais e métodos empregados no estudo; no Capítulo 3 seus resultados, incluindo a avaliação do conjunto da área e três modelos adicionais mais detalhados em áreas com situações críticas ou de interesse especial; no Capítulo 4 discute-se a disponibilidade hídrica subterrânea do SAU

Baiano; e, finalmente, no Capítulo 5 apresentam-se as conclusões do estudo, seguidas das referências bibliográficas.

4.2.1 Objetivos

Os objetivos propostos para o atual projeto apresentados no presente Relatório basearam-se na necessidade de atender às seguintes metas:

- Desenvolver uma interface com a *internet* que permita, a qualquer usuário autorizado ou ao público em geral, a visualização dos resultados e o acesso e *download* (através da plataforma OBahia, parte do presente projeto) dos dados dos modelos hidrogeológicos numéricos realizados com o Modflow, desenvolvidos nas duas etapas do estudo. Isso permitirá que, posteriormente, o usuário, com o treinamento apropriado, possa rodar os dados produzidos pelo projeto e fazer operações de simulação;
- Incorporar ao modelo hidrogeológico os novos dados coletados e disponibilizados que pudessem contribuir para a definição, com base em informações de poços, da espessura aparente do SAU, e também dados do comportamento temporal dos níveis de água do aquífero – obtidos do Sistema RIMAS/CPRM, possibilitando avaliar a interação água subterrânea – água superficial e aumentar maior base de dados hidráulicos do SAU, refinando o modelo e tornando-o mais representativo da situação real;
- Rodar cenários diversos neste novo modelo refinado, permitindo simular a implantação de novos poços de bombeamento em áreas com diferentes níveis de explotação no SAU, além de avaliar cenários futuros com o aumento do número de poços em condições de chuvas dentro da média histórica e avaliar o efeito da implantação de novos poços a diferentes distâncias entre poços e rios da região.

4.3 METODOLOGIA

A segunda etapa do estudo contemplou, dentre as várias atividades realizadas, um complemento da revisão bibliográfica sobre a hidrogeologia da área de interesse do SAU, realizando-se também novos testes de bombeamento em áreas carentes de informações, bem como o uso de técnicas mais refinadas para estimativas de recarga. A seguir detalham-se as informações coletadas, dados obtidos e os métodos empregados para conseguir e processar esses dados.

4.3.1 Levantamento de Propriedades Hidráulicas do SAU

4.3.1.1 Teste (ou Ensaio) de Bombeamento

O termo "teste de bombeamento" representa um conjunto de métodos práticos de campo que incluem: 1) o teste de bombeamento em um único poço, normalmente destinado a obtenção dos parâmetros para a utilização do poço, definição de vazão etc. Existem variações como o teste de bombeamento contínuo ou o teste de rebaixamento escalonado. Esse tipo de teste permite também a obtenção de alguns parâmetros do aquífero, como estimativa da transmissividade e do nível piezométrico, o que foi feito no presente trabalho com dados do Sistema SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil e de outras bases de dados de poços (ver item 2.1.2); e 2) o teste de interferência, que consiste em bombear um poço e monitorar a variação do nível piezométrico em poços vizinhos.

O teste de interferência, também chamado “teste de aquífero” ou “ensaio de aquífero” permite realizar a definição do raio (área) de influência do poço e obter os parâmetros hidráulicos do aquífero (transmissividade, condutividade hidráulica e armazenamento). Consiste em bombear um poço de bombeamento (PB) a uma vazão conhecida e monitorar o rebaixamento em poços de monitoramento (piezômetros - PM) localizados nas proximidades do PB. A duração do teste pode variar de acordo com a finalidade pretendida, variando de horas a dias de bombeamento (Figura 1).

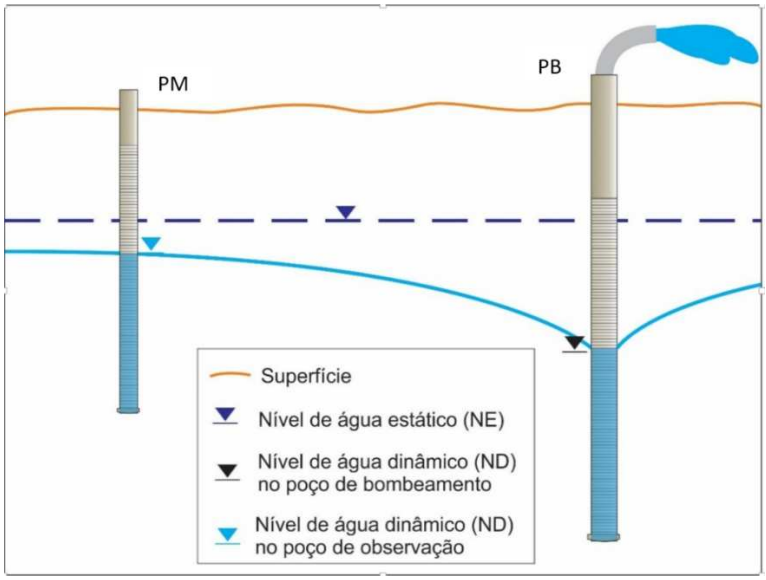

Figura 1 - Croqui esquemático do teste de aquífero. O poço de bombeamento (PB) provoca o cone de rebaixamento (curvas azuis) que é registrado no poço de monitoramento ou piezômetro (PM).

A equipe da UFV/UFRJ gostaria de agradecer à Glaucia Araujo, Rafael Nascimento e Wellerson Amorim, da AIBA, pelo apoio fundamental an realização dos testes de bombemaneto, já que, por conta da pandemia de COVID19 a equipe do projeto só pode participar daqueles realizados até o final de 2019.

Para as campanhas de campo foi feita uma seleção de áreas de interesse e de fazendas com potencial para realização dos testes, com base nos seguintes critérios:

- Distribuição de pontos de forma mais abrangente possível na região do SAU;
- Fazendas que possuíam poços com vazões mais elevadas (> 100 m^3/h); e
- Pontos que priorizassem áreas mais carentes de informações.

Durante os testes para a medição da variação do nível de água, foram utilizados dispositivos de medição e armazenamento de dados autônomos inseridos no poço e funcionando como transdutores de pressão, permitindo obter o nível piezométrico do aquífero a partir pressão da coluna de água sobrejacente. Utilizou-se um aparelho Micro-Diver da marca *Van Essen Instruments* e também um *Levellogger*® da marca *Solinst*, com o intervalo de medida adotado de 1 minuto e duração dos testes variando de 20,6 h à 108 h (Figura 2).

A vazão dos testes foi a declarada pelos responsáveis pelos poços e variou de 250 m^3/h a 500 m^3/h e observada na documentação disponível. A Figura 3 apresenta distribuição dos testes de bombeamento executados na região.

Figura 2 - Dispositivos utilizados para a medição e armazenamento de dados de nível estático e dinâmico nos poços ensaiados no aquífero (A) *Levelogger* da empresa Solinst e (B) *Micro-Diver da empresa Van Essen*.

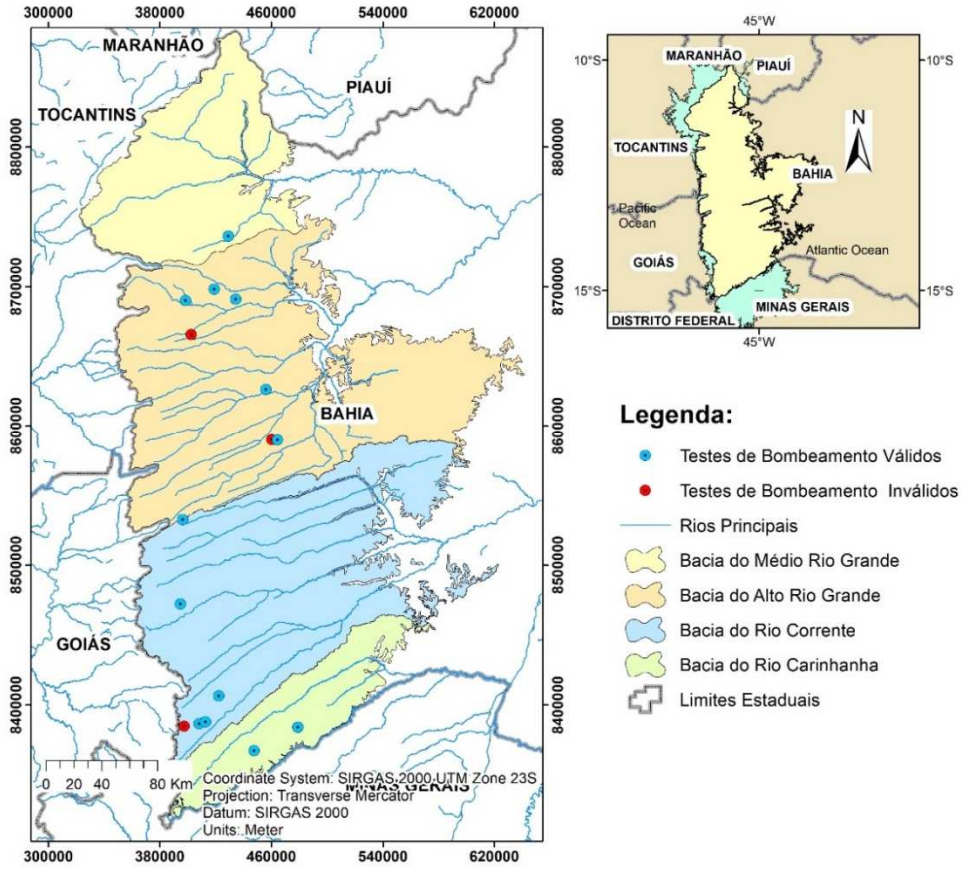

Figura 3 - Mapa com a localização dos poços nos quais foram realizados testes de aquífero: os pontos vermelhos representam os testes invalidados por tempo de teste curto ou por falta de interferência, enquanto os pontos em azul representam os testes válidos.

Os testes de aquífero foram processados no software *AQTESOLV* versão 4.5 Standard da *HydroSOLVE, Inc.* Este *software* permite o processamento do teste com base em diferentes métodos disponíveis. As melhores soluções foram obtidas com os métodos de Neuman e Hantush, respectivamente para aquíferos livres e semiconfinados.

4.3.1.2 Dados Secundários

De modo complementar foram utilizados dados secundários para levantamento dos parâmetros hidráulicos do SAU. Estes dados foram extraídos da literatura tais como dos trabalhos de Gaspar (2008) e Barbosa (2017); e bases de dados públicos, como o SIAGAS/CPRM, RIMAS/CPRM, CNARH/ANA e INEMA. As informações obtidas foram processadas e unificadas e posteriormente tratadas em ambiente SIG (ArcMap 10.6) para interpolação dos pontos obtidos e espacialização das informações.

4.3.2 Métodos de Estimativa de Recarga

4.3.2.1 Método de Variação do Nível d'Água - VNA (Water Table Fluctuation - WTF)

O Método de Flutuação do Nível d'Água (WTF ou VNA) utiliza as variações do nível de água subterrânea ao longo do tempo para estimar a recarga em aquíferos livres (Healy, 2010), assumindo que as elevações nos níveis de água subterrânea (NA) ocorrem devido à recarga aquífera. A recarga é um parâmetro espacialmente variável, porém, o método WTF é aplicado para uma porção pontual do aquífero tendo, portanto, representatividade restrita (Teramoto e Chang, 2018). Para isso, utiliza-se a equação (1), assumindo que a água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e que todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo são nulos durante o período de recarga (Troian *et al.*, 2017).

$$R = Sy \cdot \frac{dh}{dt} = Sy \qquad \textit{Equação (1)}$$

Em que R é recarga; Δh é variação do nível d'água; Sy é o rendimento específico; e Δt é variação de tempo.

Para a execução do trabalho foram selecionados 60 poços de monitoramento da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) da CPRM, que tiveram instalação iniciada a partir do ano de 2011 em diversos pontos da área do SAU. Além desses poços, dados de chuva foram obtidos de 9 estações pluviométricas através do portal Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA) e de 35 estações artificiais da missão TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

Já que os dados diários não apresentaram um padrão de variação significativo, foram calculadas as médias mensais de variação do nível de água nos poços através de média aritmética, sendo desconsiderados os meses que não possuíam pelo menos 15 dias consecutivos de medição. Para os dados de pluviosidade, foram calculadas as médias mensais em mm/mês.

Em seguida foi necessário calcular a variação do nível d'água (Δh) para cada pico, e para isso, as médias mensais de variação de nível foram plotadas em gráfico no Excel, no qual foi calculada a diferença entre um pico de aumento do NA e a extrapolação da curva de rebaixamento anterior a ele, no mesmo instante em que o máximo ocorre. Já o rendimento específico (S_y) foi retirado da literatura (Quadro 1) e comparado com a descrição geológica do poço para que fosse utilizado o valor mais adequado.

Quadro 1 - Rendimento específico (%) segundo o material do sedimento (Johnson, 1967 apud. Healy, 2010).

Rendimento Específico – S_y (%)			
Material	**Máximo**	**Médio**	**Mínimo**
Argila	5	2	0
Argila Arenosa	12	7	3
Silte	19	8	3
Areia Fina	28	21	10
Areia Média	32	26	15
Areia grossa	35	27	20
Areia Cascalhosa	35	25	20
Cascalho Fino	35	25	21
Cascalho Médio	26	23	13
Cascalho Grosso	26	22	12

A partir desses dados, para calcular a recarga, o Δh de cada pico foi dividido pelo intervalo de tempo (Δt) respectivo e multiplicado pelo S_y e, para obter um resultado geral para cada um dos poços, foi feita a média aritmética dos picos para se calcular o mínimo, a média e o máximo de recarga. Neste relatório será apresentada uma estimativa de recarga para o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) no oeste da Bahia com base nos poços apresentados na Figura 11, que foram aqueles em que havia dados que permitissem a aplicação do método.

4.3.2.2 Simulação com o *software* SWAT (Arnold et al., 2012)

O SAU, em especial na região oeste da Bahia, representa uma área de interesse para o agronegócio pois possui um grande potencial hídrico, terras abundantes e adequadas à agricultura, insolação e um clima favorável. Sendo assim, é uma área que vem sofrendo alterações em sua cobertura e uso de terra ao longo do tempo devido à expansão agrícola (ver Figura 4) e ao aumento significativo de outorgas para captação de águas superficiais e subterrâneas. Logo, estudar a dinâmica do meio físico da região é importante para que seja possível realizar um bom gerenciamento dos recursos hídricos, visando um uso sustentável que não cause escassez de água no futuro.

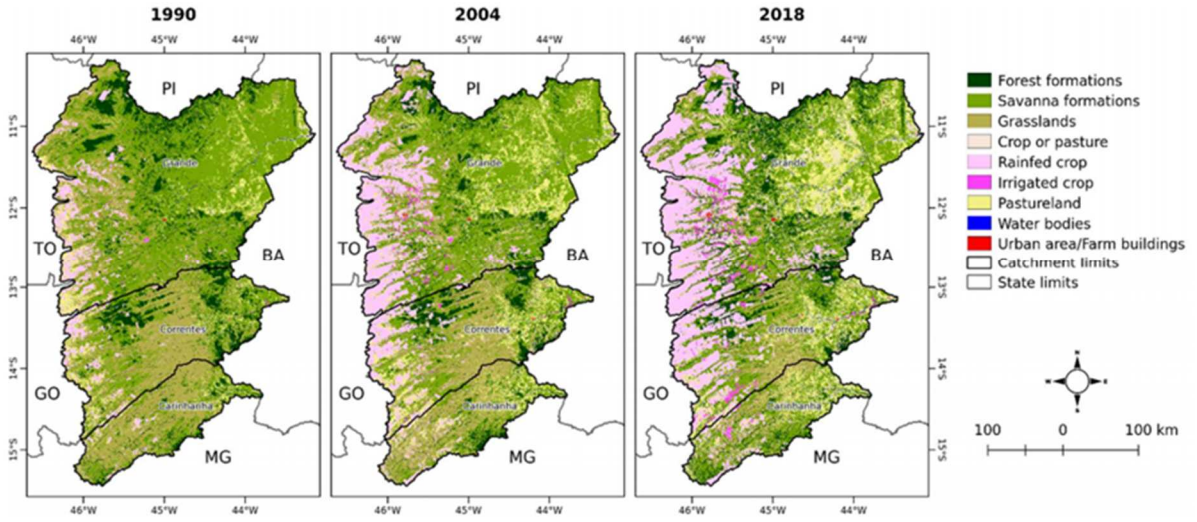

Figura 4 - Evolução do uso do solo no oeste da Bahia. É possível notar o crescimento de áreas de agricultura em tons de rosa (Fonte: http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-MHC-Salvador.pdf).

Neste estudo estimou-se a recarga para duas bacias de detalhe do SAU utilizando também o *software Soil and Water Assessment Tools* (SWAT). As bacias de detalhe são a sub-bacia da cabeceira do rio Grande, parte da bacia do Alto rio Grande; e a sub-bacia do rio Corrente/Arrojado, parte da bacia do rio Corrente (Figura 5). Elas foram selecionadas devido à sua importância local, ao surgimento de conflitos por água nas localidades, e à presença de informações que viabilizam a calibração dos modelos.

4.3.2.2.1 Estimativa de Recarga - SWAT

O SWAT é um modelo temporal contínuo, semidistribuído e baseado em processamento computacional, desenvolvido pelo *Agricutural Research Service* dos EUA para simular mudanças no meio físico, balanço hídrico, transporte de sedimentos, pesticidas e poluentes dentro de bacias hidrográficas. O *software* utiliza HRUs, que são Unidades de Resposta Hidrológica geradas a partir da sobreposição de mapas de uso do solo, tipo de solo e topográfico. O SWAT é compatível com ferramentas GIS, podendo ser acoplado como uma extensão ao *ArcMap* (*ArcSWAT*) e ao *QGIS* (*QSWAT*), facilitando o entendimento do trabalho e o processo de entrada de dados com uma interface gráfica (Neistch et al, 2011; Arnold et al, 2012).

O SWAT foi usado neste estudo pois representa bem o efeito do uso e cobertura do solo no balanço hídrico e, consequentemente, na estimativa da recarga das águas subterrâneas. A influência do uso do solo na recarga do SAU torna-se crítica, visto que o oeste baiano é uma importante fronteira agrícola que, nas últimas décadas, sofreu um aumento da supressão da vegetação nativa para o plantio de diversas culturas (Gaspar & Campos, 2007). Há uma grande demanda por recursos hídricos para pulverização agrícola e dessedentação de animais, comprovada pelo aumento das necessidades de outorgas subterrâneas e superficiais nas últimas décadas com a expansão da área composta pela agricultura (Gaspar, 2006; Gaspar & Campos, 2007).

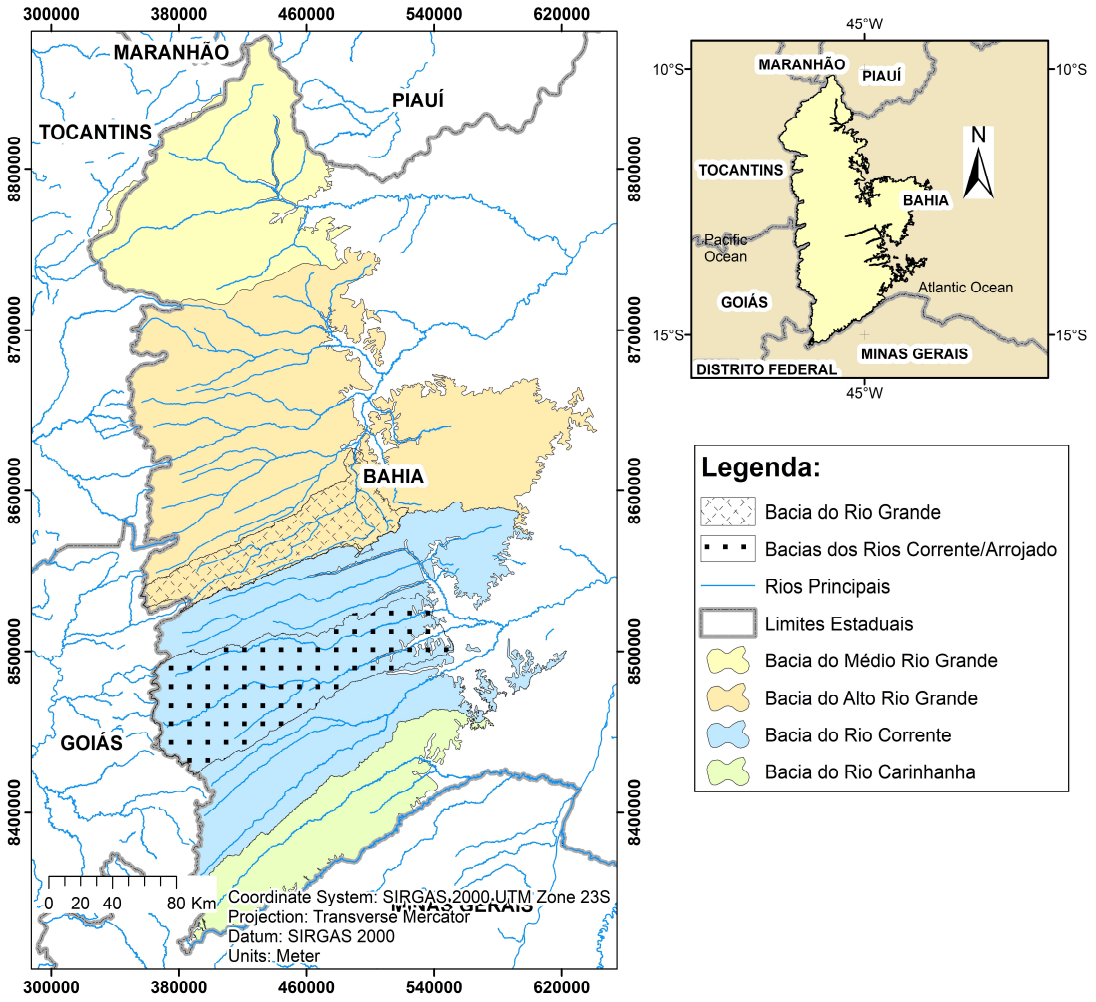

Figura 5 - Localização das bacias de detalhe para simulação no SWAT. Sub-bacia da cabeceira do rio Grande - área hachurada ao norte, parte da bacia do Alto rio Grande; Sub-bacia do rio Corrente/Arrojado, parte da bacia do rio Corrente – área hachurada ao sul.

O ciclo hidrológico no SWAT é calculado usando a equação 2, do balanço hídrico:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \qquad \textit{Equação (2)}$$

Em que SW_t é o conteúdo final de água do solo (mm H_2O), SW_0 é o conteúdo inicial de água do solo no dia i (mm H_2O), t é o tempo (dias), R_{day} é a quantidade de chuva precipitada no dia i (mm H_2O), Q_{surf} é a quantidade de escoamento no dia i (mm H_2O), E_a é a quantidade de evapotranspiração no dia i (mm H_2O), w_{seep} é a quantidade de água percolada que sai do perfil de solo no dia i (mm H_2O), e Q_{gw} é a quantidade de fluxo subterrâneo no dia i (mm H_2O) (Neistch et al, 2011).

A água que se infiltra e sai do perfil do solo para a zona vadosa percola até atingir a zona saturada e é armazenada como recarga do aquífero. O SWAT separa a zona saturada em dois aquíferos em seu sistema: um não confinado e outro confinado (Neistch et al, 2011). Neste estudo considerou-se o valor da recarga total dos dois aquíferos, visto que o SAU é

predominantemente não confinado, apresentando, de forma restrita, algumas áreas com característica de aquífero semiconfinado, conforme inicialmente constatado por Gaspar & Campos (2007) e corroborado por alguns resultados de testes de bombeamento realizados no presente estudo. A equação 3 indica que a recarga de ambos os aquíferos em um determinado dia é:

$$w_{rchrg,i} = \left(1 - \exp\left[-\frac{1}{\delta_{gw}}\right]\right) \cdot w_{seep} + \exp[-\frac{1}{\delta_{gw}}] \cdot w_{rchrg,i-1} \qquad \textit{Equação (3)}$$

Em que $w_{rchrg,i}$ é a quantidade de recarga nos dois aquíferos no dia i (mm H_2O), δ_{gw} é o tempo de atraso da formação geológica sobrejacente (dias), w_{seep} é a quantidade de percolação que sai do perfil do solo no dia i (mm H_2O), e $w_{rchrg,i-1}$ é a quantidade de recarga que entrou em ambos os aquíferos no dia anterior i-1 (Neitsch et al, 2011).

4.3.2.2.2 Configuração do modelo e dados de entrada

Conforme comentado anteriormente, para a realização da modelagem o SWAT requer dados de entrada relacionados ao clima, uso do solo, tipo de solo e topografia. A versão utilizada foi o SWAT2012 com a interface *Arcswat*. O período de simulação foi de 2008 a 2019, com os primeiros três anos sendo usados como aquecimento do modelo e, portanto, os resultados gerados considerados restringem-se ao período de 2011 a 2019.

O modelo digital de elevação utilizado foi o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m (Figura 6). A partir do MDE foram delimitadas as sub-bacias e a rede de drenagem. Para a sub-bacia do rio Grande foram geradas 21 sub-bacias e para a bacia do Corrente/Arrojado (sub-bacia do rio Corrente), 22 sub-bacias.

Os dados climáticos necessários para utilizar o modelo são: precipitação, radiação solar, temperatura, umidade relativa e velocidade média do vento, todos em uma escala de tempo diária. Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos a partir de estações artificiais geradas pelo satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Para ambas as bacias foram utilizadas 18 estações de precipitação e 17 estações de temperatura. Os dados de radiação solar, umidade relativa e velocidade média do vento foram simulados a partir dos dados disponíveis de reanálise do CSFR (*Climate Forecast System Reanalysis*) do *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). A evapotranspiração potencial foi calculada usando o método de Penman-Monteith (Monteith, 1965).

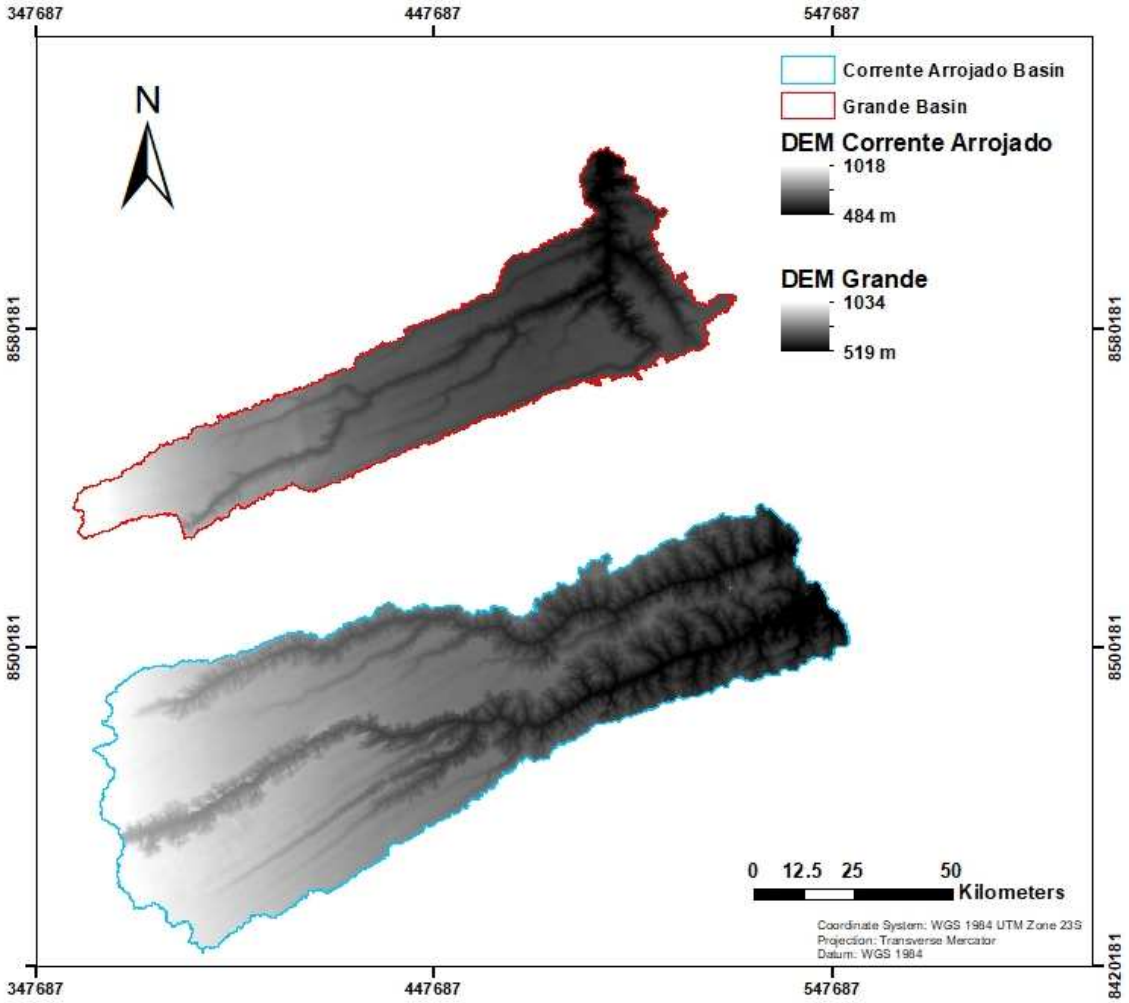

Figura 6 - Modelo digital de elevação das sub-bacias do rio Grande e Corrente/Arrojado com 30 m de resolução do SRTM.

O mapa de solos utilizado foi obtido no banco de dados da Embrapa e o mapa de uso do solo foi obtido no portal MapBiomas (EMBRAPA, 2020; Mapbiomas, 2019). O SWAT requer diferentes parâmetros de entrada para diferentes tipos de solo e uso do solo. Para os tipos de solo, os dados dos parâmetros foram coletados no levantamento da Embrapa na região (Jacomine et al, 1976). Este levantamento não apresenta todos os parâmetros de entrada necessários, então o restante foi coletado em outros trabalhos que utilizaram o SWAT em regiões próximas à área de estudo (Baldissera, 2005; Fernandes, 2015).

Bancos de dados com os parâmetros de uso do solo são escassos no Brasil, motivo pelo qual foi feita uma correlação com os tipos de uso do solo já existentes na base de dados do SWAT. A partir do MDE, foi gerado um mapa de declividade separado em 3 classes de declive: 0 a 3%, 3 a 8% e > 8%. Os dados de uso do solo, tipo de solo e topografia podem ser encontrados no portal OBahia, o banco de dados para a região oeste da Bahia que faz parte do presente estudo. No Quadro 2 apresenta-se a fonte de todos os dados de entrada utilizados no modelo.

Quadro 2 - Resolução e fonte dos dados de entrada.

Tipo de Dado	Resolução	Fonte
Modelo Digital de Elevação	30 m	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/
Mapa de Solo	30 m	Embrapa http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/?limit=100&offset=0 and OBahia http://obahia.dea.ufv.br/layers/?limit=20&offset=0
Mapa de Uso do Solo	30 m	OBahia http://obahia.dea.ufv.br/maps/38/view and MapBiomas https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage
Dados Climáticos	0.25°(TRMM) and 1°(CSFR)	Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp and National Center for Atmospheric Research(NCAR) https://rda.ucar.edu/pub/cfsr.html
Vazão dos Rios	Medida	Agência Nacional das Águas (ANA) http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas

Na Figura 7 até a Figura 9 é possível observar os mapas de solo, uso do solo e declividade. Após a classificação dos mapas de uso do solo, solo e declividade, estes foram sobrepostos gerando as HRUs. Foram geradas 463 HRUs para a bacia do rio Grande e 596 para a bacia do Corrente/Arrojado.

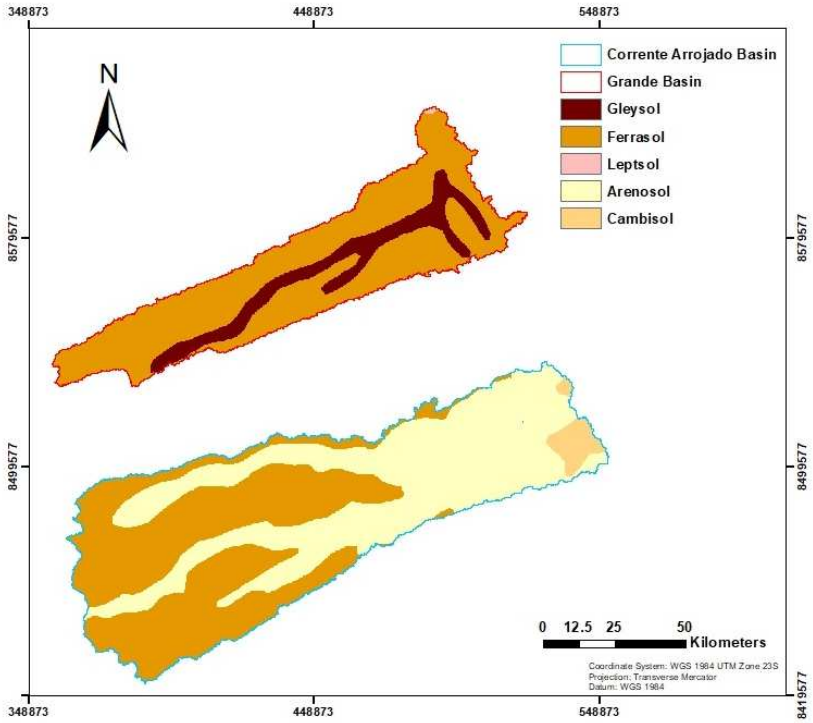

Figura 7 - Classes de solos das sub-bacias do rio Grande e Corrente/Arrojado retirados de Embrapa (1977).

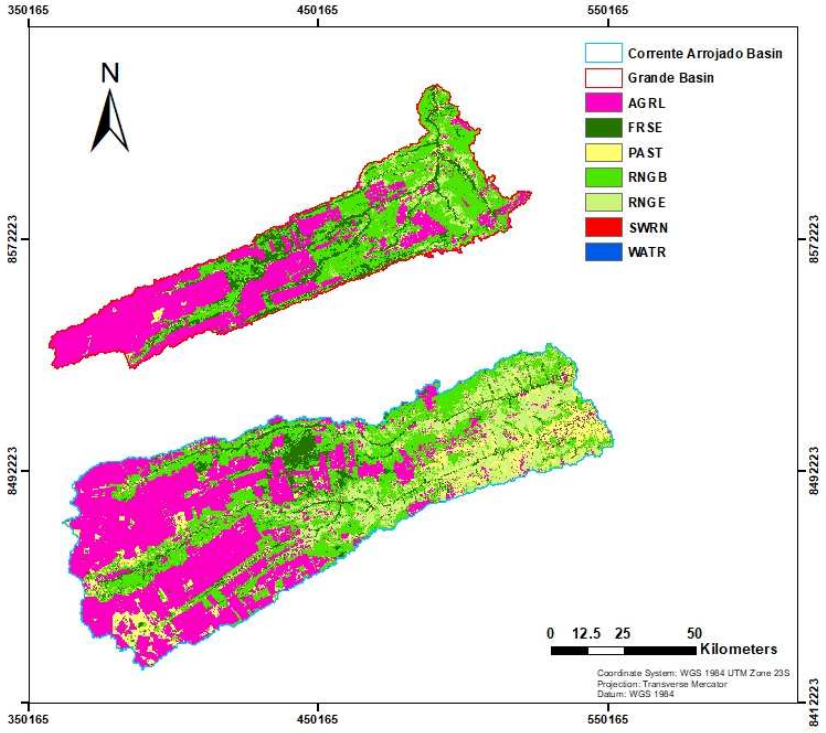

Figura 8 - Mapas de uso do solo das sub-bacias do rio Grande e Corrente/Arrojado obtidos no portal MapBiomas (2019).

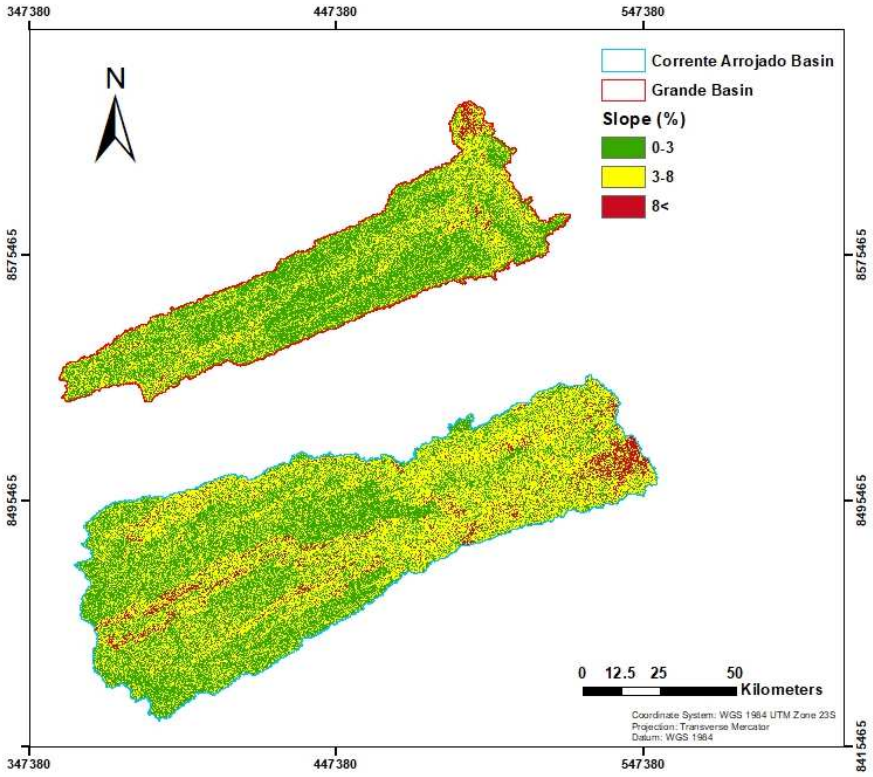

Figura 9 - Mapa de declividade das sub-bacias do rio Grande e Corrente/Arrojado, gerado no ArcSWAT.

Os dados mensais de vazão, utilizados na calibração e validação do modelo, foram retirados do portal Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA). Foram utilizadas as estações Casa Real (46400000) e Sítio Grande (46450000) na bacia do rio Grande, e as estações Veredão (45580000), Correntina (45590000) e Arrojado (45770000) na bacia dos rios Corrente/Arrojado. Pode-se ver a distribuição espacial das estações na Figura 10.

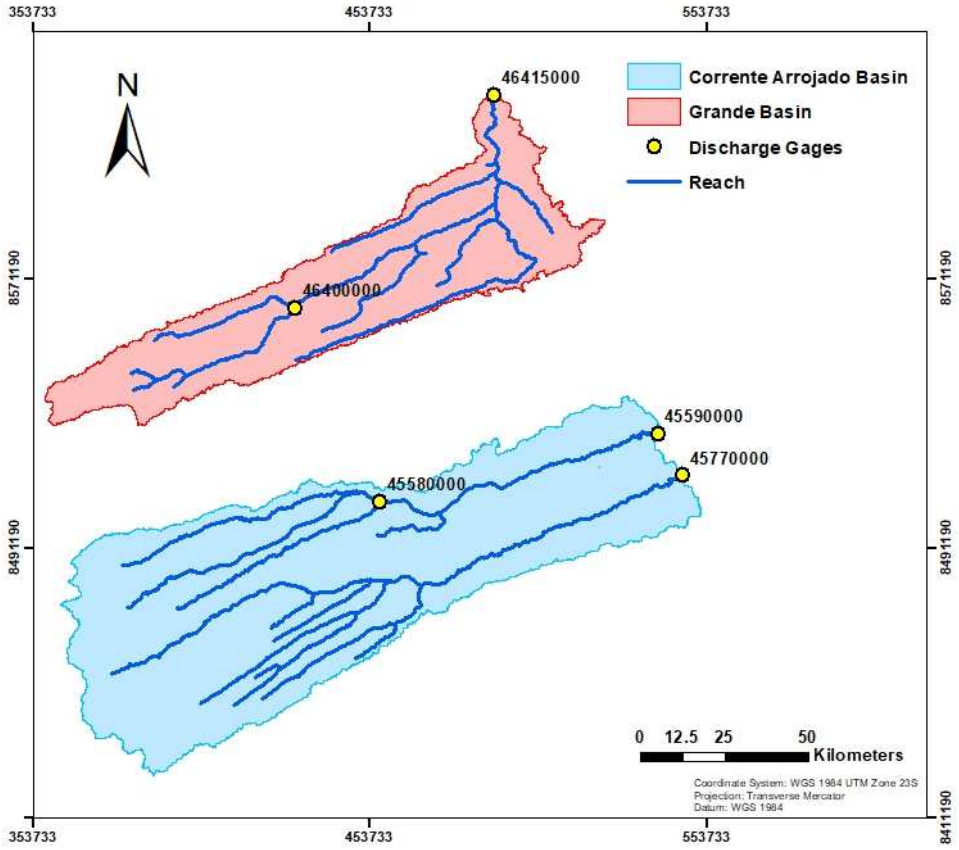

Figura 10 - Estações fluviométricas utilizadas na calibração do modelo nas sub-bacias do rio Grande e Corrente/Arrojado.

4.3.2.2.3 Calibração do Modelo

Para a calibração do modelo foi utilizado o SWAT-CUP (Abbaspour, 2015), uma ferramenta de calibração automática. Dentro do SWAT-CUP estão disponíveis diferentes algoritmos de calibração, são eles: SUFI-2, ParaSol, PSO, GLUE e MCMC. Para o presente estudo, o SUFI-2 (*Sequential Uncertainty Fitting*, versão 2) foi escolhido porque é um algoritmo amplamente utilizado para calibrar modelos hidrológicos e requer menos iterações para alcançar resultados satisfatórios (Yang et al, 2008).

Na calibração com o SUFI-2 são realizadas iterações consecutivas em que, a cada iteração, busca-se alcançar o ajuste adequado do modelo, de acordo com uma função objetivo escolhida. Para esse estudo a calibração foi realizada na escala de tempo mensal. Foram feitas 500 simulações por iteração, e entre as 10 funções-objetivo disponíveis no SWAT CUP, foi escolhida a Nash-Sutcliffe (Eq. 4) (Nash-Sutcliffe, 1970), por ser uma função objetivo amplamente utilizada em estudos hidrológicos. Valores acima de 0,5 são considerados satisfatórios (Moriasi et al, 2007). Os resultados do PBIAS (Eq. 5) e do coeficiente de

determinação R^2 (Eq. 6) também foram observados. O primeiro indica a tendência de os valores simulados serem maiores ou menores do que os observados. Valores positivos indicam superestimação do modelo e valores negativos indicam subestimação (Gupta et al, 1999). O segundo é obtido a partir da regressão linear entre os valores simulados e observados, onde valores acima de 0,5 são considerados satisfatórios (Chung et al. 2002).

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - Q_{-m})^2} \quad \textit{Equação (4)}$$

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_m - Q_s)_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_{m,i}} \quad \textit{Equação (5)}$$

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - Q_{-m})(Q_{s,i} - Q_{-s})]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - Q_{-m})^2 \sum_i (Q_{s,i} - Q_{-s})^2} \quad \textit{Equação (6)}$$

Em que Q_m é a variável observada, Q_s é a variável simulada, Q_{-s} é a média da variável simulada e Q_{-m} é a média da variável observada.

4.3.2.2.4 Análise de Sensibilidade e Incerteza

Os parâmetros mais sensíveis são selecionados para calibração com um intervalo de valores para cada um deles. Esse intervalo gera uma faixa de incerteza após as simulações, e essa incerteza é chamada de 95PPU. Este intervalo diminui à cada iteração, como forma de otimizar a função objetivo, em um processo de calibração automática.

Após cada iteração, dois dados estatísticos são apresentados o fator *p* e o fator *r*. O fator p representa a porcentagem de dados observados que foram compreendidos pelo 95PPU, enquanto o fator *r* representa a "espessura" da faixa de valores simulados (95PPU) (Abbaspour, 2015). Valores de fator *p* acima de 0,7 e fator *r* abaixo de 1,5 são normalmente considerados satisfatórios, embora possam variar de acordo com as condicionalidades de cada modelo (Abbaspour et al., 2004, 2007).

O SWAT CUP também fornece a sensibilidade global dos parâmetros por meio do *t-stat* e do *p-stat* após cada iteração. Quanto maior o valor de *t-stat*, mais sensível é o parâmetro. Em relação ao *p-stat*, se seu valor for menor que 0,05 o parâmetro pode ser considerado sensível dentro de um intervalo de confiança de 95% (Abbaspour, 2015).

4.3.2.2.5 Validação

A validação consiste em rodar o modelo com os intervalos dos parâmetros calibrados em um período diferente do utilizado para a calibração, para verificar se o ajuste foi correto e se o desempenho será satisfatório em períodos não calibrados (Arnold et al, 2012). A calibração para as duas bacias foi feita em anos não consecutivos, de forma que foi excluída a possibilidade de calibração em períodos chuvosos e validação em períodos secos, por exemplo.

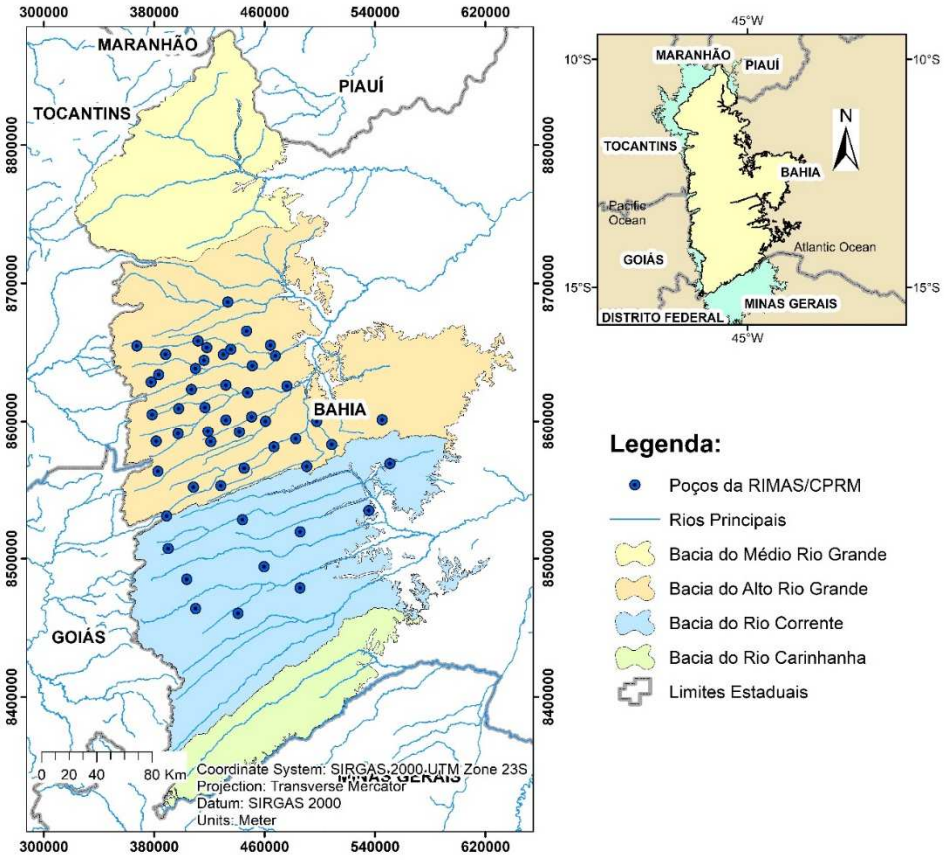

Figura 11 - Localização dos poços da RIMAS/CPRM usados para cálculo do método VNA.

4.3.3 Atualização do Modelo Numérico de Fluxo

A atualização do modelo numérico de fluxo contou com o apoio técnico da Water Services and Technologies Ltda. A empresa foi contratada pela AIBA para desenvolver, em conjunto com a equipe da UFV e UFRJ, um modelo numérico de fluxo do aquífero de Urucuia, com o objetivo de avaliar a influência de poços de bombeamento na região e demostrar a capacidade da região de suportar a demanda de água pela agricultura. A equipe elaborou também um manual de trabalho para facilitar a realização de futuras modificações e/ou simulações em base ao modelo.

Modelos numéricos de fluxo consistem em uma representação matemática, computacional, de um sistema natural, permitindo a simulação de diferentes cenários hidrogeológicos, resultando em previsões acerca das mudanças ambientais e antrópicas no sistema hídrico subterrâneo. Esta ferramenta auxilia na gestão e preservação dos recursos hídricos, por meio de cálculos numéricos cujos resultados podem ser representados de forma gráfica, resultando em dados como reservas hídricas disponíveis, vazões máximas recomendáveis de extração para uma dada área, dentre outros, contribuindo de forma significativa para a melhoria do gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

Uma vez concluído o trabalho de modelagem, o produto final é uma ferramenta de trabalho através do qual podem ser simulados cenários com diferentes distribuições de poços de bombeamento, de maneira a avaliar sua influência sobre o equilíbrio hídrico da região e permitir uma adequada gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Essa ferramenta é dinâmica,

podendo e devendo ser continuamente atualizada e aperfeiçoada, na medida em que novos dados vão sendo gerados e também novas demandas de gestão ocorram.

O modelo numérico de fluxo subterrâneo foi desenvolvido com base no modelo hidrogeológico conceitual previamente elaborado pela equipe do projeto e apresentado no relatório "Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha", referente à primeira etapa do estudo (Mantovani *et al.*, 2019). Naquele trabalho foram compilados dados sobre o fluxo regional do Aquífero Urucuia, recarga e hidroestratigrafia, devidamente validados por meio de levantamento de campo, bem como as propriedades petrofísicas das unidades aquíferas que ocorrem no SAU, além das propriedades hidrológicas, obtidas em testes de bombeamento. Os modelos conceitual e numérico foram atualizados com base nas informações coletadas ao longo do trabalho. O modelo numérico apresentado no presente relatório foi utilizado, principalmente, para avaliar a influência dos poços de bombeamento, incluindo seu espaçamento e vazões, sobre o aquífero e rios a ele conectados, incluindo a simulação de cenários com implantação de novos poços, e demostrar a capacidade da região de suportar a demanda atual e futura de água principalmente pela agricultura irrigada.

Destaca-se aqui também que o modelo numérico é uma ferramenta dinâmica, com possibilidade de realizar atualizações periódicas quando houver novos dados disponíveis, como dados de monitoramento, resultados de testes de aquíferos, perfuração de sondagens, poços ou piezômetros, entre outros, que são essenciais para o aperfeiçoamento contínuo do modelo, resultando em uma representação mais precisa do sistema natural. A descrição do trabalho de modelagem matemática desenvolvido é apresentada a seguir.

4.3.3.1 Protocolo de Modelagem

O trabalho de modelagem matemática de fluxo foi realizado segundo um fluxograma de trabalho internacionalmente estabelecido, apresentado na Figura 12.

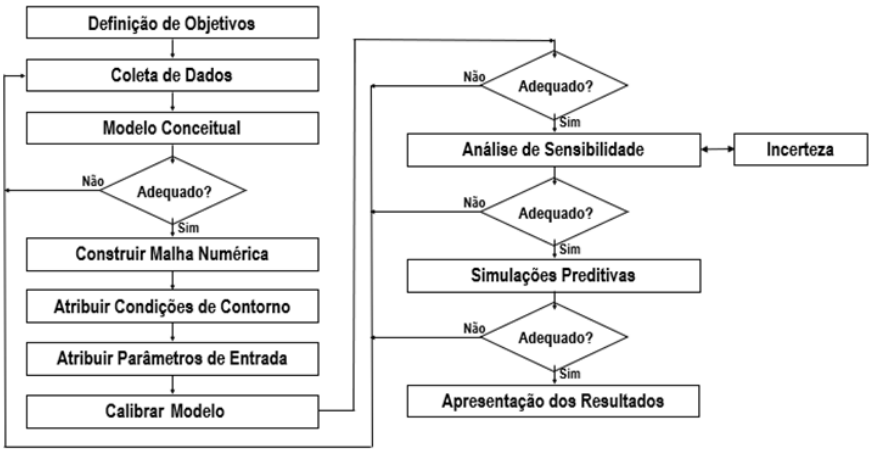

Figura 12 - Fluxograma aplicado à modelagem matemática hidrogeológica (adaptado de Anderson e Woessner, 1991).

4.3.3.2 Seleção do código numérico

O código numérico selecionado para este trabalho foi o código de diferenças finitas MODFLOW, desenvolvido pelo Serviço Geológico Norte-Americano (USGS, 1985). A opção por este código numérico se deu principalmente devido à sua capacidade de modificar a malha numérica sem perder a informação do modelo conceitual, sua versatilidade e adequação ao uso em bacias sedimentares com as características do SAU. Ademais, seu uso e documentação de apoio são amplamente difundidos, sendo o código numérico de simulação de fluxo em aquíferos mais utilizado em todo mundo. O método de diferenças finitas utiliza a equação diferencial parcial que descreve o movimento tridimensional do fluxo de água subterrânea, em regime estacionário ou transiente, através de um meio poroso equivalente e saturado (Equação 7).

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(Kxx\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(Kyy\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(Kzz\frac{\partial h}{\partial z}\right)\pm W=\ \mathrm{S}_s\frac{\partial h}{\partial t} \qquad \textit{Equação (7)}$$

Em que: K - condutividades hidráulicas ao longo dos eixos coordenados x , y, z [L/T]; h - Carga hidráulica [L]; W - Fluxo externo por unidade de volume, representando fonte e/ou sumidouro [1/T]; S_s é o armazenamento específico do aquífero; e t é o intervalo de tempo para a mudança de carga hidráulica.

4.3.3.3 Pacotes MODFLOW e Interfaces

O MODFLOW é um código numérico aberto considerado um padrão internacional para simular e prever as condições da água subterrânea e as interações água subterrânea / água superficial. O MODFLOW 6 é atualmente a versão mais atual do MODFLOW distribuída pelo USGS (Langevin et al., 2021). O MODFLOW-USG (Panday et al., 2017), utilizado no presente estudo, é parte do pacote computacional que constitui a suíte MODFLOW 6. A versão principal anterior, MODFLOW-2005, também é mantida e suportada ativamente (USGS, 2021).

Por se tratar de um código aberto, atualmente existem inúmeras interfaces de MODFLOW disponíveis, que podem ser gratuitas ou comerciais. Dentre as gratuitas se destacam o MODFLOW (código fonte do USGS) e o FloPy (código em Python), cuja maior vantagem é a disponibilidade para uso sem o pagamento de licenças. Porém, a desvantagem está na dificuldade de iniciar a modelagem, já que as mesmas exigem um pouco mais de conhecimento em programação para utilização das ferramentas; e na falta ou demora no suporte, em caso de problemas. Buscando minimizar as desvantagens, o USGS lançou o Model Muse, uma interface gráfica do MODFLOW gratuita e bastante funcional. As desvantagens desta interface são a falta de algumas sub-rotinas e pacotes existentes no Visual Modflow, por exemplo, é o fato de não ser tão "amigável" ao usuário médio quanto as versões comerciais. Contudo, o Model Muse tem evoluído nos últimos anos e se configura como uma opção cada vez mais interessante e que, eventualmente, pode ser utilizada por usuários sem os recursos ou o desejo de adquirir uma licença comercial paga.

Dentre as interfaces comerciais destacam-se o *Visual MODFLOW,* da *Waterloo Hydrogeologic*; o *GMS* (sigla para *Groundwater Modeling System*), da *Aquaveo; PMWIN*, da *Simcore;* e o *Groundwater Vistas,* da *ESI*. As vantagens da versão comercial são: interface amigável, suporte em geral rápido e atualizações regulares. A principal desvantagem é a necessidade de pagamento de valores, em taxa única ou periodicamente, segundo a versão, para manutenção de suporte e atualização.

O software de modelagem (interface gráfica para pré e pós-processamento) utilizado para este trabalho foi o Visual MODFLOW Flex 6.1, desenvolvido pela Waterloo Hydrogeologic (https://www.waterloohydrogeologic.com/visual-modflow-flex/). Este software é relativamente recente e está sendo difundido nas empresas e consultorias que trabalham com modelagem de água subterrânea. Surgiu após várias atualizações do Visual MODFLOW Classic (a versão comercial mais amplamente utilizada em todo o mundo), apresentando diversas vantagens, dentre elas:

- Possibilidade de criar o modelo conceitual e o modelo numérico no mesmo programa;
- Elaboração de modelos conceituais com geologia mais complexa;
- Possibilidade e facilidade de gerenciar e comparar vários modelos conceituais ou numéricos dentro do mesmo arquivo;
- Confiança e validação dos dados ao poder checar o caminho de construção do modelo, arquivos e propriedades utilizadas;
- Aperfeiçoamento das tecnologias utilizadas na visualização 3D; e
- Possibilidade de gerar malhas numéricas retangulares (diferenças finitas), não-estruturadas ou de elementos finitos.

Como uma desvantagem do uso dessa versão, pode-se citar a maior complexidade de aprendizado e uso, que, no entanto, pode ser rapidamente suprida com treinamento adequado das equipes envolvidas em futuras simulações.

4.3.3.4 Construção do modelo do SAU

4.3.3.4.1 Domínio do modelo numérico de fluxo (área de abrangência)

Após a definição dos objetivos do estudo, desenvolvimento do modelo hidrogeológico conceitual e seleção do código numérico de modelagem, o passo seguinte é definir o domínio (ou área de abrangência) do modelo numérico, para posterior construção da malha numérica.

Conforme descrito anteriormente, o processo de modelagem adotado neste trabalho consiste em 4 (quatro) modelos numéricos de fluxo, em que as áreas consideradas no trabalho de modelagem numérica, denominadas tecnicamente como “domínios”, são apresentadas na Figura 13, na qual as sub-bacias do rio Branco, rio Grande/São Desidério e rio Corrente/Arrojado foram representadas mediante três modelos locais e o quarto modelo foi elaborado para toda a área do SAU no estado da Bahia (limite em azul na Figura 13). Observe-se que as sub-bacias do rio Grande/São Desidério e Corrente/Arrojado são, respectivamente, parcial ou totalmente coincidentes com as áreas modeladas nos modelos SWAT e VNA.

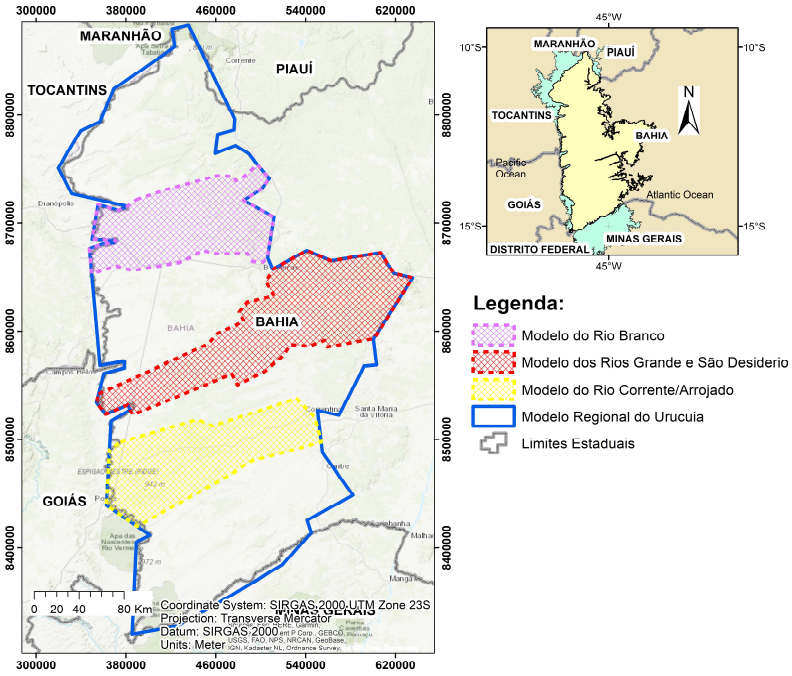

Figura 13 - Domínio do modelo numérico de fluxo do SAU.

A estratégia de modelagem, apresentada na Figura 14, consistiu no desenvolvimento do modelo numérico regional e três modelos locais com um maior refinamento para representar as três sub-bacias de interesse. Assim, a distribuição das cargas hidráulicas obtidas do modelo numérico regional foi utilizada como condição de contorno de carga constante, principalmente nas fronteiras dos modelos numéricos locais, com a finalidade de reproduzir o comportamento do fluxo obtido da simulação regional e conseguir calcular com maior acurácia os gradientes hidráulicos gerados pelos poços de bombeamento. No Apêndice A está listado o procedimento operacional (manual) de como proceder para a simulação de cada um dos modelos de detalhe (submodelos) e sua relação com o modelo regional.

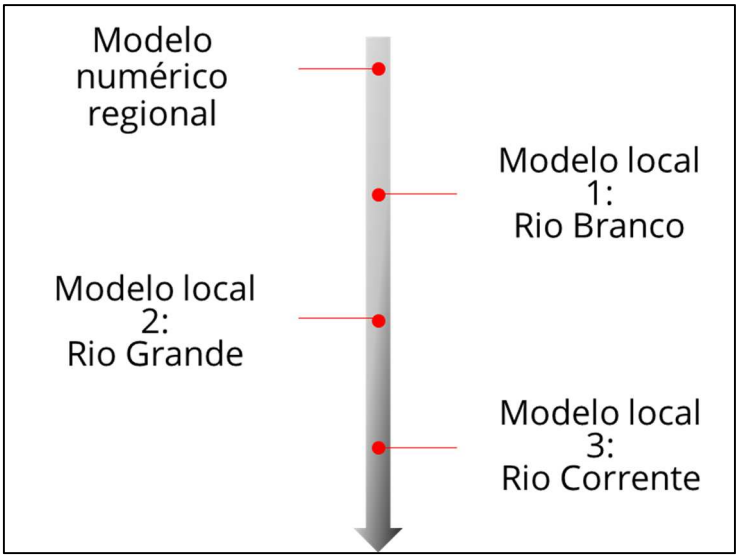

Figura 14 - Estratégia de modelagem dotada.

4.3.3.4.2 Malha numérica

O modelo de fluxo foi desenvolvido utilizando uma malha numérica tridimensional não estruturada Voronoi (V-Grid). Em geometria euclidiana, o diagrama Voronoi é um modo de dividir o espaço físico em regiões discretas, a partir de pontos centrais em que a região de "influência" daquele ponto consiste na área mais próxima daquele ponto que dos demais ao redor. Essas regiões são chamadas células Voronoi. Ou seja, gera-se uma malha que é discretizada verticalmente em camadas, e horizontalmente em uma série de polígonos (em três dimensões esse conjunto de geometrias geram elementos na forma de prismas triangulares). Assim, neste conjunto de geometrias adotados, é possível discretizar (refinar) a malha numérica horizontalmente (em polígonos) e verticalmente (em camadas), conforme descrito a seguir.

Discretização Horizontal

A malha numérica do modelo regional foi discretizada horizontalmente em maior detalhe ao redor dos poços de bombeamento e das nascentes e cursos d'água que ocorrem no domínio do modelo, obtendo-se um tamanho de célula de aproximadamente 500 m. Nas zonas menos discretizadas do modelo, um tamanho de célula de cerca de 1400 m foi adotado. A Figura 15 apresenta a camada 1 da malha numérica do modelo regional.

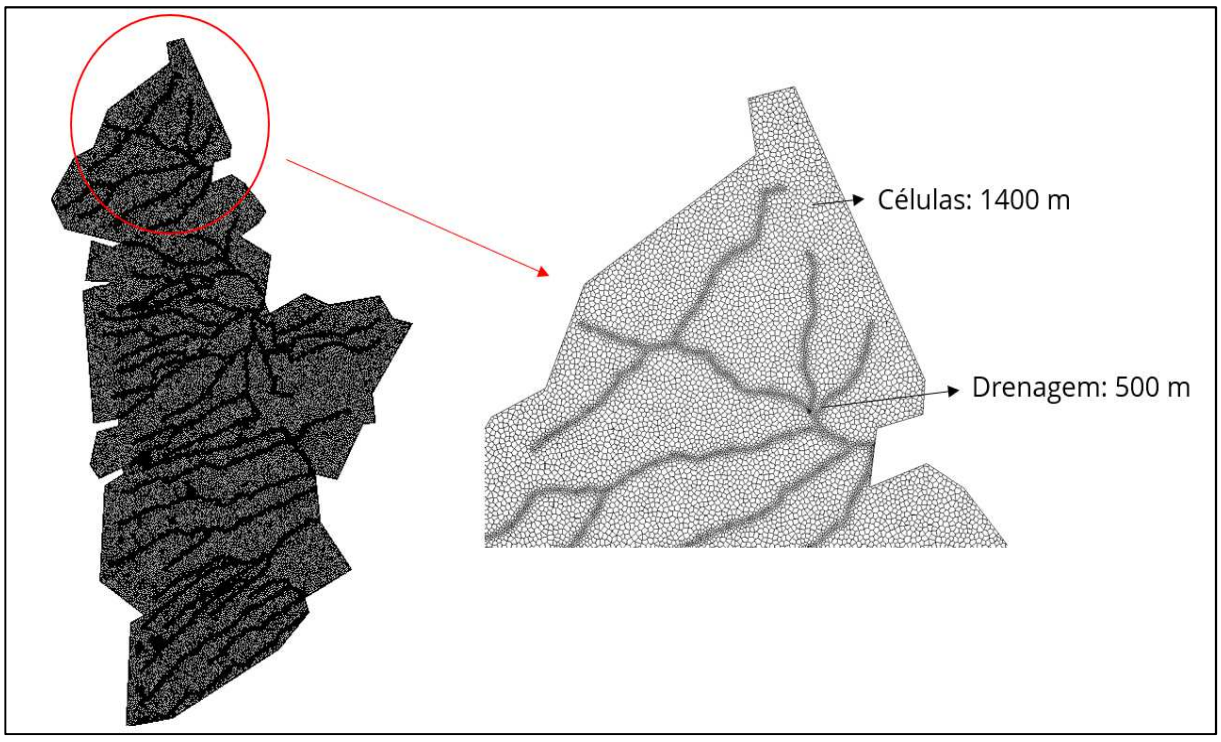

Figura 15 - Malha numérica do modelo regional vista em planta.

Nos modelos locais, o refinamento ao redor dos poços e das nascentes e cursos d'água foi realizado em base a células com um tamanho, respectivamente, ao redor de 200 m e de 500 m, com a finalidade de obter um melhor detalhamento do gradiente hidráulico ao redor dos poços de bombeamento. A Figura 16, a Figura 17 e a Figura 18 apresentam as malhas numéricas dos modelos locais.

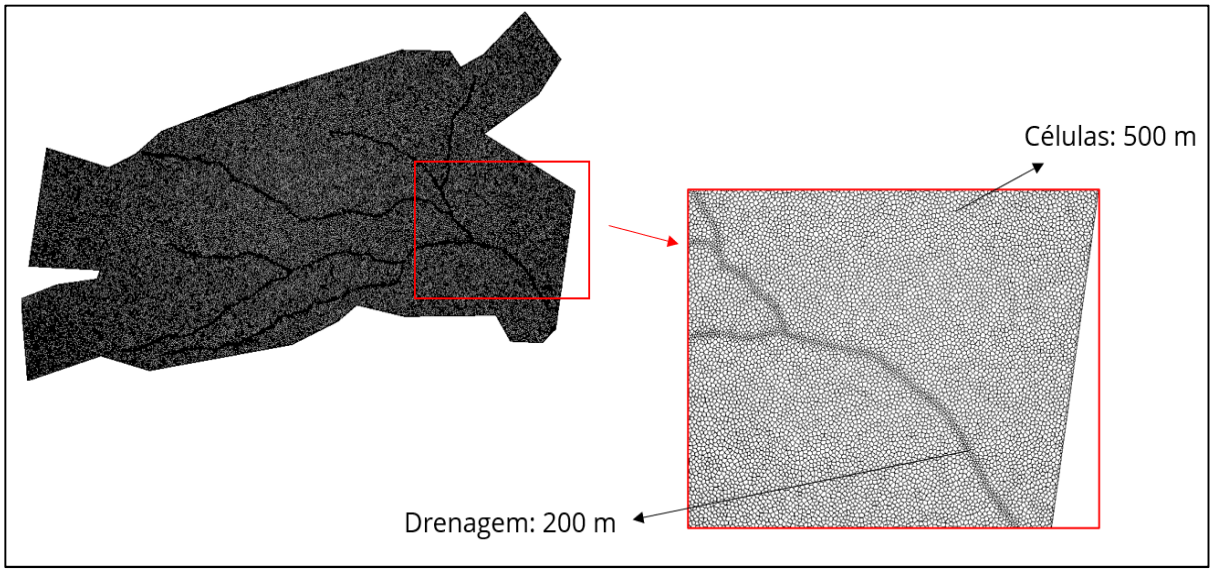

Figura 16 - Malha numérica do modelo local da bacia do rio Branco.

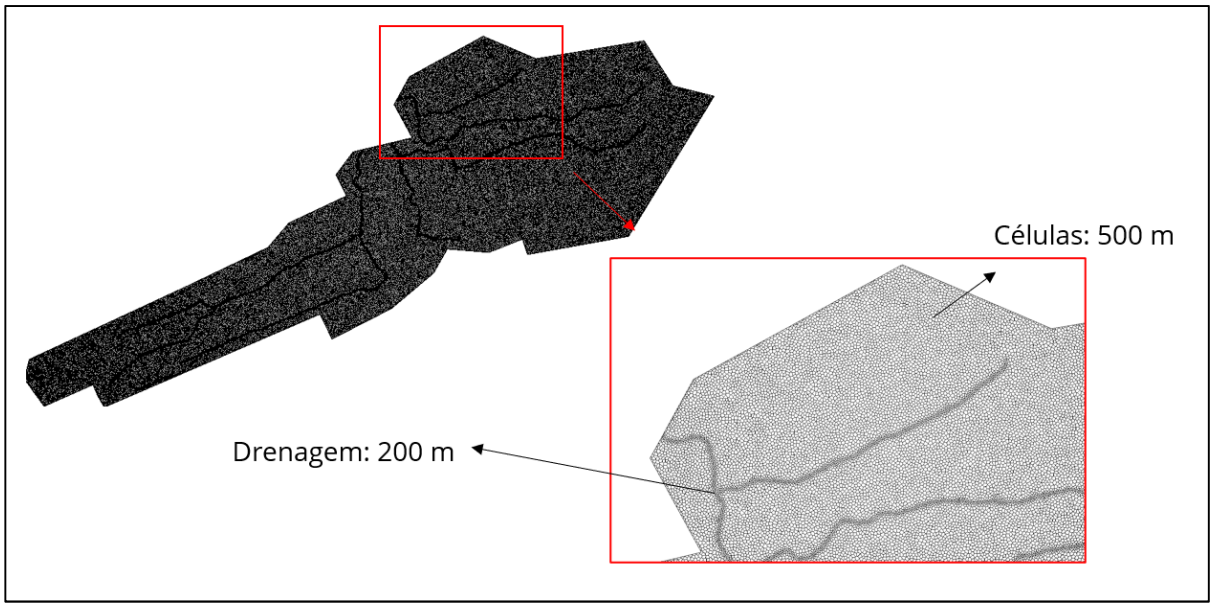

Figura 17 - Malha numérica do modelo local da área de detalhe na sub-bacia do rio Grande / São Desidério.

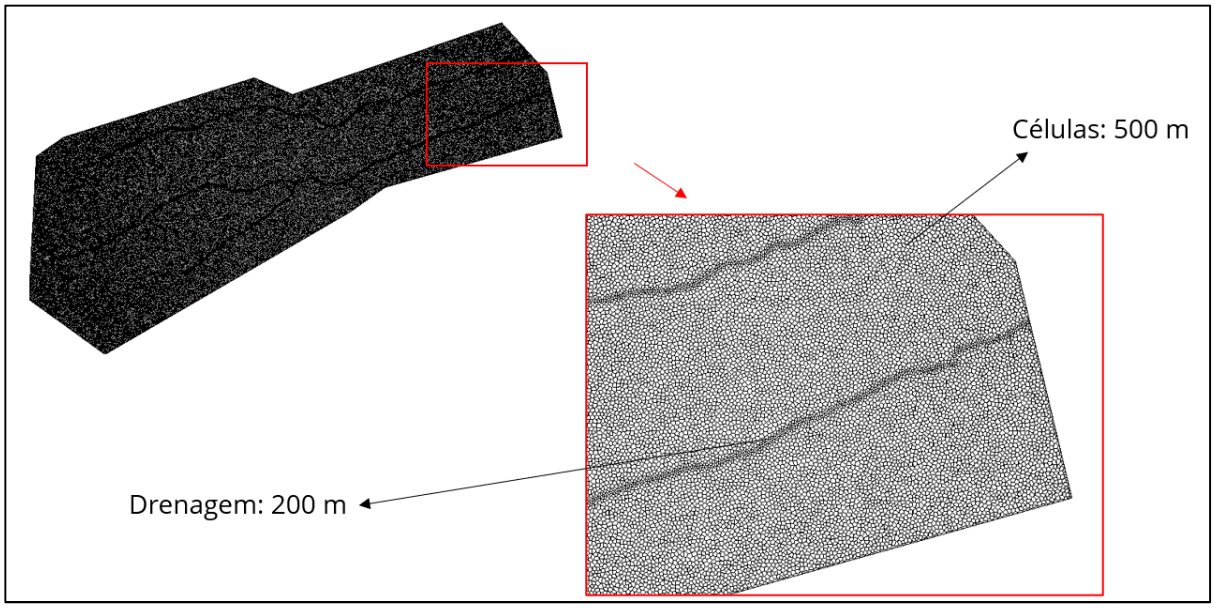

Figura 18 - Malha numérica do modelo local da área de detalhe na sub-bacia do rio Corrente / Arrojado.

Discretização Vertical

Tanto o modelo regional como os modelos locais foram discretizados verticalmente em 6 (seis) camadas numéricas, em que cada unidade hidroestratigráfica foi discretizada em 3 (três) camadas numéricas, as quais possuem uma espessura variável. A unidade superior possui uma espessura total média aproximada de 120 m, enquanto a unidade inferior possui uma espessura total média aproximada de 280 m.

Na unidade superior cada camada possui uma espessura mínima cerca de 5 m, uma espessura máxima cerca de 65 m e uma espessura média de 20 m. Na unidade inferior, cada camada possui uma espessura mínima cerca de 45 m, uma espessura máxima cerca de 110 m e uma espessura média de 70 m.

4.3.3.4.3 Propriedades hidrodinâmicas

As propriedades hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos de interesse, especificamente a condutividade hidráulica (K), foram atribuídas inicialmente com base nos valores compilados a partir de referências bibliográficas e ensaios de aquíferos realizados pela equipe do projeto. Foi definido, como premissa de modelagem, considerando a natureza do material aquífero, de origem eólica e fluvial, que os valores de K_z compreenderiam a metade dos valores de K_x, e $K_x = K_y$ (anisotropia transversal). A Figura 19 apresenta a distribuição espacial em três dimensões da condutividade hidráulica. O Quadro 3 sintetiza os valores considerados no desenvolvimento do modelo numérico.

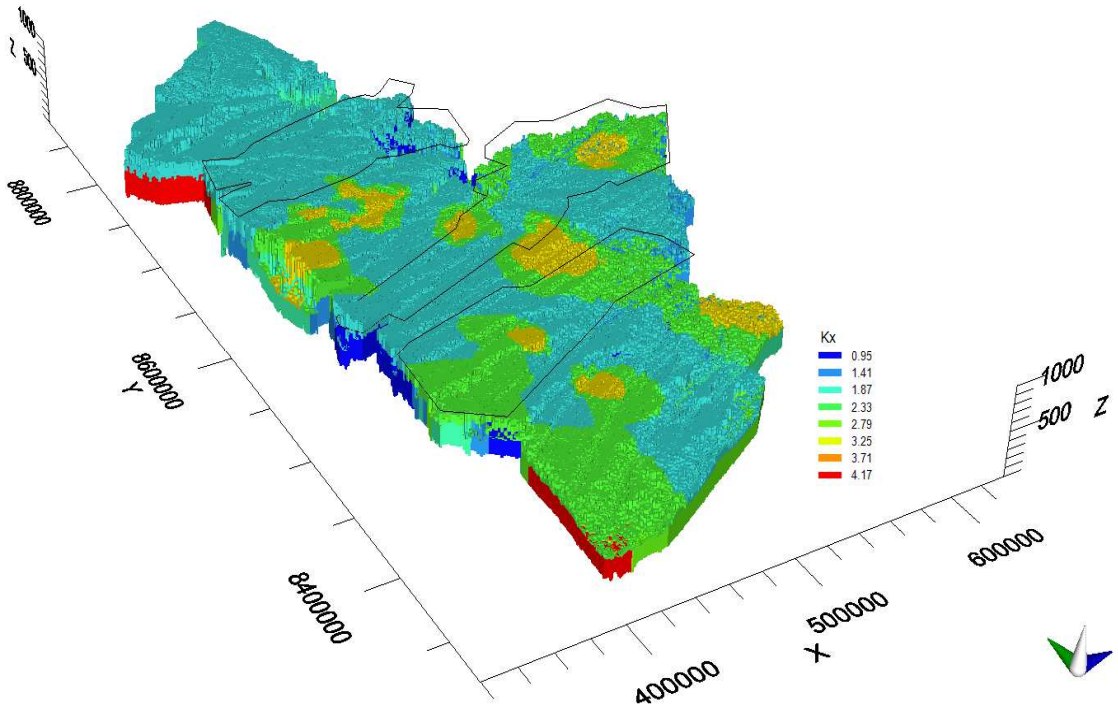

Figura 19 - Distribuição espacial 3D dos valores de condutividade hidráulica (Kx = Ky, em m/d).

Quadro 3 - Síntese dos valores de condutividade hidráulica compilados para o modelo numérico.

Unidades Hidroestratigráficas	Litotipo	Unidade Litoestratigráfica	Variação K (m/d)		K médio (m/d)
			Máximo	Mínimo	
Unidade superior	Arenito, argilito, conglomerados	Fm. Serras das Araras	3,4	0,098	1,75
Unidade inferior	Arenito eólicos	Fm. Posse	4,17	0,01	2,09

4.3.3.4.4 Condições de Contorno

Foram aplicadas as seguintes condições de contorno no modelo numérico de fluxo:

- **Recarga (*recharge*)**: representa a fração da precipitação pluviométrica que infiltra no subsolo e que é efetivamente responsável por recarregar os aquíferos e sustentar os níveis d'água subterrânea. As taxas de recarga foram estimadas a partir de uma análise fluviométrica e pluviométrica.
- ***Drenos* (*drains*):** esta condição de contorno remove água do aquífero, representando a descarga de água do sistema subterrâneo para a superfície. Esta condição foi utilizada, tanto no modelo numérico regional como nos modelos locais, para representar as nascentes e a rede de drenagem superficial (rios e córregos). Adotou-se como premissa, com base nas análises efetuadas dentro do modelo conceitual, que os rios e córregos na região são predominantemente efluentes. Além disso, foi utilizada também nos quatro modelos na borda

para representar a escarpa existente. Tal premissa foi adotada de modo conservador, evitando-se estimativas exageradas de recarga ao aquífero a partir dos rios.

- **General Head Boundary (*GHB*):** esta condição de contorno foi aplicada nas camadas numéricas que representam a unidade inferior do aquífero, sob a premissa que existe um fluxo de entrada ou saída nessa zona.
- **Carga constante (*constant head*):** esta condição de contorno permite manter constante a carga hidráulica na célula onde foi assinalada, independentemente das condições do sistema. Foi utilizada apenas nos modelos locais com a finalidade de reproduzir o comportamento do fluxo que foi simulado no modelo numérico regional. Assim, após a calibração do modelo regional, a distribuição de cargas hidráulicas foi exportada e usada como novas condições de contorno nos modelos das sub-bacias.
- **Poços (*wells*):** Esta condição de contorno foi utilizada para representar os poços de bombeamento que estão localizados dentro do domínio do modelo. Foram modelados 193 poços de irrigação, com uma profundidade máxima de 400 m e a profundidade média é de 235 m.

4.3.3.4.5 Calibração do modelo de fluxo em regime estacionário

A calibração envolveu o processo de ajuste dos parâmetros de entrada do modelo numérico, com o intuito de atingir a melhor correspondência possível entre as condições simuladas numericamente e o sistema natural de fluxo, partindo da premissa de que o modelo é uma simplificação da hidrogeologia real que, portanto, possui um grau intrínseco de incerteza. O modelo numérico de fluxo é considerado calibrado quando este reproduz, dentro de uma margem de erro aceitável, as cargas hidráulicas, gradientes hidráulicos e direções de fluxo do sistema natural. É fundamental que, durante a calibração, os parâmetros hidrodinâmicos e as condições de contorno utilizadas respeitem o modelo conceitual previamente estabelecido.

O ajuste da calibração do modelo numérico de fluxo foi realizado partir da média quadrática dos erros normalizados (*Normalized Root Mean Squared-NRMS*), dado pela Equação 8:

$$NRMS = \frac{RMS}{(Xobs)\max - (Xobs)min} \qquad \textit{Equação (8)}$$

Em que:

$$\mathrm{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{R}_{\mathrm{i}}^{2}}$$

Sendo:

n = número de pontos de observação / calibração

R = diferença entre o valor de carga hidráulica observado em campo e o valor calculado pelo modelo

$(\mathrm{Xobs})\mathrm{max}$ = máxima carga hidráulica medida em campo

$(\mathrm{Xobs})\mathrm{min}$ = mínima carga hidráulica medida em campo

Tipicamente um valor de NRMS próximo ou abaixo de 10% é considerado adequado no que diz respeito à calibração das cargas hidráulicas do modelo.

4.3.3.4.6 Seleção dos pontos de calibração

A calibração do modelo numérico de fluxo foi realizada considerando os valores de carga hidráulica medidos em 61 pontos de observação da RIMAS/CPRM. A calibração em estado estacionário foi realizada utilizando as medições de nível estático e nível dinâmico (convertidas em carga hidráulica), os dados utilizados no modelo compreendem a média aritmética do período monitorado. Estes dados e as seções filtrantes de cada poço foram importadas de acordo com o perfil construtivo disponível para cada poço. A Figura 20 apresenta os pontos de calibração com informações de carga hidráulica medidas, que foram utilizados para a calibração do modelo numérico de fluxo.

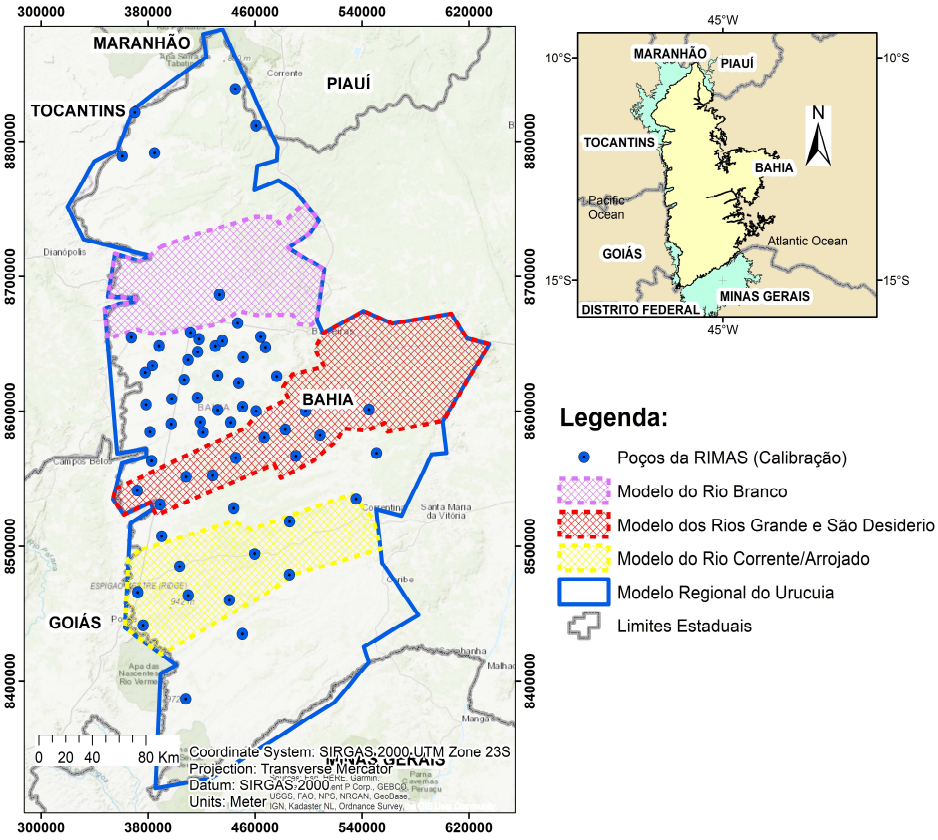

Figura 20 - Localização dos pontos de calibração de cargas e vazões utilizados no modelo numérico de fluxo.

4.3.3.5 Cenários de Simulação Adicionais

4.3.3.5.1 Cenários de Bombeamento

Foram simulados cenários de bombeamento hipotéticos na sub-bacia do rio Grande e na sub-bacia do Rio de Ondas, no domínio do Sistema Aquífero Urucuia (SAU). Foram simulados três cenários na região central dessa sub-bacia, com uma malha de 30 poços dispostos em cinco linhas e seis colunas (5x6). Os poços artificiais tinham 140 m de seção filtrante, começando em 120 m de profundidade até 260 m, que é a profundidade máxima final de todos os poços no modelo.

O primeiro cenário de simulação foi com uma distância de 2500 m entre os poços; bombeando 500 m³/h por 18 h/dia, totalizando 9000 m³/dia, num período de 10 anos. O segundo cenário de simulação foi com uma distância entre poços de 1500 m; bombeando 500 m³/h por 18 h/dia, totalizando 9000 m³/dia, num período de 10 anos. O terceiro e último cenário para a região central dessa sub-bacia foi com uma distância de 1500 m entre os poços; bombeando 300 m³/h por 18 h/dia, totalizando 5400 m³/dia, num período de 10 anos. Pode-se observar, no Quadro 4, um resumo das características de cada um desses cenários. Dez anos foi um prazo considerado suficientemente longo para observar os efeitos de longo prazo do esquema de bombeamento simulado nos cenários propostos, mas isso pode ser rapidamente modificado para o intervalo de tempo desejado pelo operador/simulador.

Quadro 4 - Cenários de simulação para a região central da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

	Quantidade de poços	**Distância entre poços**	**Bombeamento diário**	**Período total de simulação**
Cenário 1	30 (5x6)	2500 m	9000 m³	10 anos
Cenário 2	30 (5x6)	1500 m	9000 m³	10 anos
Cenário 3	30 (5x6)	1500 m	5400 m³	10 anos

Foram simulados também quatro cenários na região leste dessa sub-bacia, em área próxima à região de São Desidério. Esses cenários foram baseados na IN-15 (INGÁ, 2010), a instrução normativa a ser seguida na concessão de outorga de poços para captação subterrânea no estado da Bahia. As características construtivas dos poços foram as mesmas seguidas nos cenários simulados na região central da sub-bacia, assim como o período total de simulação. Como o aquífero é consideravelmente menos espesso nessa região, a malha de poços selecionada foi de 20 poços dispostos em 4 linhas e 5 colunas (4x5).

O primeiro cenário avaliado foi com a distância de 2500 m entre poços, bombeando 300 m³/h por 18h/dia, totalizando 5400 m³/dia. O segundo cenário foi com uma distância de 1500 m entre poços, bombeando 300 m³/h por 18 h/dia, totalizando 5400 m³/dia. O terceiro cenário de simulação foi com uma distância de 2500 m entre poços, bombeando 200 m³/h num período de 18 h/dia, totalizando 3600 m³/dia. O quarto cenário de simulação foi com uma distância de 1500 m entre poços, bombeando 200 m³/h num período de 18 h/dia, totalizando 3600 m³/dia. Pode-se ver no Quadro 5 um resumo das características de cada um dos cenários de simulação nessa região.

Quadro 5 - Cenários de simulação para a região leste da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

	Quantidade de poços	**Distância entre poços**	**Bombeamento diário**	**Período total de simulação**
Cenário 1	20 (4x5)	2500 m	5400 m³	10 anos
Cenário 2	20 (4x5)	1500 m	5400 m³	10 anos
Cenário 3	20 (4x5)	2500 m	3600 m³	10 anos
Cenário 4	20 (4x5)	1500 m	3600 m³	10 anos

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Testes de Bombeamento

Durantes as campanhas de campo foram realizados aproximadamente 21 testes de bombeamento. Deste total, 18 testes foram classificados como válidos, devido ao tempo de bombeamento e apresentação de interferência no poço de observação. A duração dos testes variou entre 20 h e 108 h, e a vazão dos testes variou de 300 m^3/h a 500 m^3/h.

A seguir serão apresentados os gráficos obtidos com o processamento dos rebaixamentos e os parâmetros hidráulicos obtidos. Os métodos de análise adotados para o processamento foram Hantush e Jacob (1955) para aquíferos confinados drenantes e Neuman (1975) para aquíferos livres. Os resultados dos testes de bombeamento executados durante as campanhas de campo deste estudo indicam uma transmissividade da ordem de 1000 m^2/dia. A condutividade hidráulica horizontal variou na ordem de 10^{-2} a 10^{-4} m/s e o coeficiente de armazenamento foi da ordem de 10^{-3} (Quadro 6).

Quadro 6 – Propriedades hidráulicas obtidas nos testes de aquífero realizados no presente estudo.

Local do Teste	Método	Duração (h)	T (m^2/dia)	S	S_y
Faz. Grato	Neuman	36	3330		0,03
Faz. Cachoeira Brasil	Neuman	32	1650	1,10E-03	0,59
Faz. Vale do Arrojado (teste 2)	Neuman	20,2	11500	1,14E-02	0,30
Faz. Maria	Neuman	52	7080	1,57E-01	0,10
Faz. Morena (poço2)	Neuman	29,6	598	2,70E-04	0,21
Faz. Campo Aberto	Neuman	32	14200		0,024
Faz. Pérola	Neuman	68	1050	7,0E-03	0,50
Faz. Rio do Meio	Neuman	68	2180	2,90E-03	0,12
Faz. Bombarda	Neuman	93	933	7,21E-04	0,50
Faz. São José	Hantush-Jacob	68	890		
Faz. São Miguel T1	Neuman	108	7840	1,16E-03	0,01
Faz. Karitel (Santa Colomba)	Neuman	57	307	7,19E-02	0,25
Faz. Leite Verde	Neuman	96	1300	2,25E-03	0,50

Devido à dificuldade de execução de testes de aquíferos com longas durações, dados de transmissividade e armazenamento são geralmente escassos. Buscando minimizar as lacunas de informações, foi realizado um levantamento de dados secundários, disponíveis em artigos, teses e outros trabalhos desenvolvidos na região, além de testes de bombeamentos disponibilizados por produtores. Barbosa (2016) realizou uma compilação de resultados de testes de bombeamento apresentados em outros trabalhos (p. ex. Santos, 2002; Schuster *et al.*, 2003; Gaspar, 2006; Pompeu e Rodrigues, 2002; Campos *et al.*, 2010) que contribuem para a teoria da existência de trechos com características de semiconfinado/confinado.

O estudo de Barbosa (2016) aponta uma variação da transmissividade (T) na ordem de 100 a 1000 m^2/dia, condutividade hidráulica (K) da variando de 10^{-4} a 10^{-6} m/s e coeficiente de armazenamento (S) entre 10^{-3} a 10^{-5} para o aquífero confinado. Para o aquífero livre os valores de T variaram entre 1 a 1000 m^2/dia, K de 10^{-4} a 10^{-7} m/s e porosidade efetiva (S_y) da ordem de 10^{-2}, segundo as informações publicadas. No Quadro 7 e nos quadros seguintes, até o Quadro 10, apresentam-se os dados obtidos nesta pesquisa bibliográfica.

Quadro 7 – Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Posse (SAU), com base em dados coletados por Schuster (2002), Nascimento (2003) e Rodrigues et al. (2009).

Poço	T (m^2/dia)	K (m/h)	Ss	Sy	Método	Sub-bacia
Campo Aberto O_{1A}	1391	---	3,1 x 10^{-4}	-------	Hantush	Rio de Janeiro
Campo Aberto O_4	1794	---	5,4 x 10^{-4}	-------	Hantush	Rio de Janeiro
Fazenda Poletto			---------	-------		
Iris Basso	1973	0,303			Jacob	Rio do Cachorro
	2956	0,439				
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1397	0,360	2,6 x 10^{-4}	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1728	0,468	---------	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1411	0,390	1,5 x 10^{-4}	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1137	0,316	----------	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Faz. Campinas P250 O	1321	0,243			Neuman	
P B	1542	0,284	7,5 x 10^{-4}		Jacob	Rio das Fêmeas
P90 O	1467	0,247	----------	1,25 x 10^{-2}	Neuman	
			3,0 x 10^{-4}			
Faz. Santo Antônio	1506	1,580	5,9 x 10^{-4}	1,43 x 10^{-2}	Neuman	Rio das Fêmeas

Obs.: B = bombeado e O = observado.

Quadro 8 - Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Serra das Araras (SAU), com base em dados coletados por Rodrigues (2009).

Poço	T (m^2/dia)	K (m/s)*	Ss	Sy	Método	Sub-bacia
Roda Velha de Baixo	348	K_h = 5 x 10^{-5} K_V = 8 x 10^{-5}	9,1 x 10^{-4}	4,7 x 10^{-2}	Neuman	Rio das Fêmeas

** Para uma espessura de aproximadamente 80 m.*

Quadro 9 - Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero semiconfinado do SAU, com base em dados coletados por Gaspar (2006).

Poço	T (m^2/dia)	K (m/s)*	S (-)	Método	Sub-bacia
Poço No. 1 Faz. Mal. Rondon	2.79E+02	$8{,}08 \times 10^{-6}$	$1{,}48 \times 10^{-4}$	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 2 Faz. Espírito Santo	2.59E+02	$7{,}49 \times 10^{-6}$	$1{,}17 \times 10^{-4}$	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 3 Faz. Hirata	2.24E+02	$7{,}39 \times 10^{-6}$	$1{,}01 \times 10^{-4}$	Theis	Rio das Fêmeas
Poço Sede No. 2 LEM	4.05E+02	$9{,}38 \times 10^{-6}$	$1{,}87 \times 10^{-4}$	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 1 Faz. Mal. Rondon	5.58E+00	$2{,}59 \times 10^{-2}$	--------	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob
Poço No. 2 Faz. Espírito Santo	5.61E+00	$2{,}59 \times 10^{-2}$	--------	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob
Poço No. 3 Faz. Hirata	2.20E+00	$8{,}91 \times 10^{-3}$	--------	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob
Poço Sede No. 2 LEM	3.36E+00	$1{,}95 \times 10^{-2}$	--------	Cooper & Jacob	Cooper & Jacob

Quadro 10 - Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero livre, obtidos por Gaspar (2006).

Poço	T (m^2/dia)	K (m/s)	Método	Sub-bacia
Poço CERB No. 2	124,42	$3{,}92 \times 10^{-6}$	Neuman	Correntina

Gaspar & Campos (2007) e Schuster et al. (2002) já haviam observado poços com características de confinamento e semiconfinamento na região do Urucuia. Estas ocorrências são descritas como comuns na região de Luís Eduardo Magalhães (BA), nas bacias dos rios Grande e Arrojado, e no município de Formosa do Rio Preto.

Durante as atividades de campo para a realização de testes de bombeamento, na região de São Desidério foi possível observar o confinamento durante teste com observação a 70 m e 150 m de profundidade. O poço de observação raso (70 m) apresentou lenta resposta ao bombeamento e rebaixamento de poucos centímetros (cerca de 3 cm) durante o teste. Já o poço de observação profundo apresentou rápida resposta ao bombeamento e rebaixamento dentro do esperado para a região. A descrição litológica do poço de bombeamento indica a presença de camadas de baixa permeabilidade como o silexito branco a róseo de 27 m até 30 m de profundidade; e uma intercalação de siltito com argilito branco a marrom de 30 m até 100 m de profundidade (Figura 21).

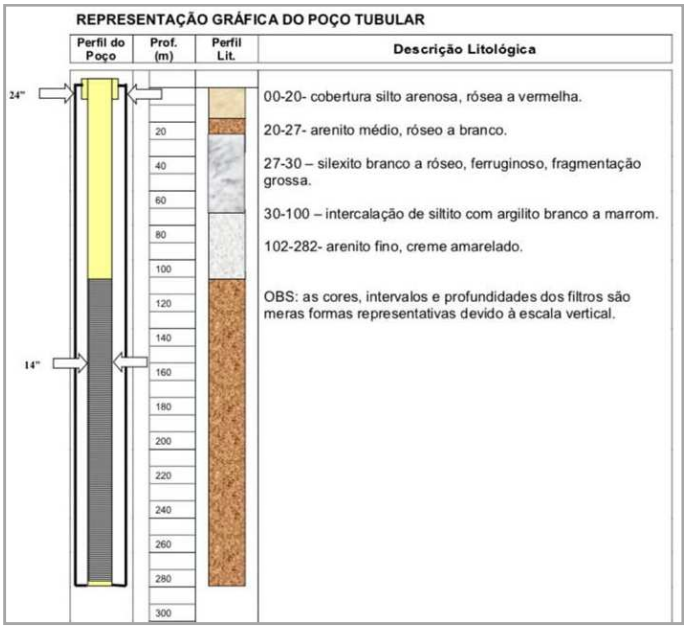

Figura 21 - Descrição litológica do poço de bombeamento na região de São Desidério (fornecido pelo proprietário).

Outra forma de maximizar o número de dados de transmissividade é o seu cálculo empírico a partir da capacidade específica, parâmetro mais simples de ser adquirido e geralmente mais abundante (Mace, 1997; Galofré, 1966). Esta metodologia foi aplicada em aproximadamente 250 poços obtidos do SIAGAS que possuíam as variáveis necessárias para o cálculo do parâmetro hidráulico.

Os resultados indicaram uma variação da transmissividade entre 10^{-1} e 10^{2} m^2/dia (Figura 22) e da Condutividade Hidráulica entre 10^{-4} e 10^{-6} m/s, apresentando similaridade com os resultados obtidos nos estudos anteriores no SAU.

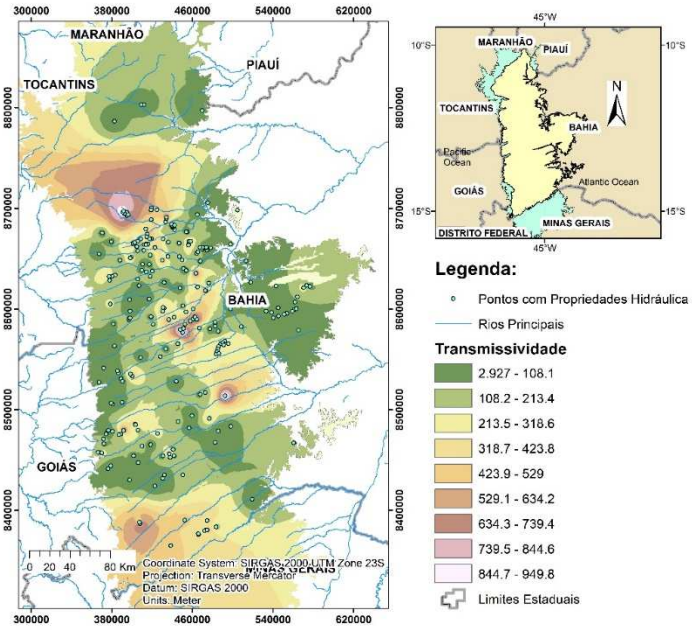

Figura 22 - Mapa de distribuição da Transmissividade (m^2/dia).

4.4.2 Estimativa de Recarga

4.4.2.1 Método de Variação do Nível d'Água (VNA ou *Water Table Fluctuation* – WTF)

Para a Bacia do Alto rio Grande (Figura 23) a recarga foi estimada em 27 poços da bacia, apesar de haver 41 poços dentro da mesma área com resultados (Quadro 11). A média variou de 6,88 a 51,13% do volume médio anual precipitado no período de setembro de 2011 a dezembro de 2019, com uma recarga média mensal de 11,43 mm/mês ao se considerar todos os 41 poços.

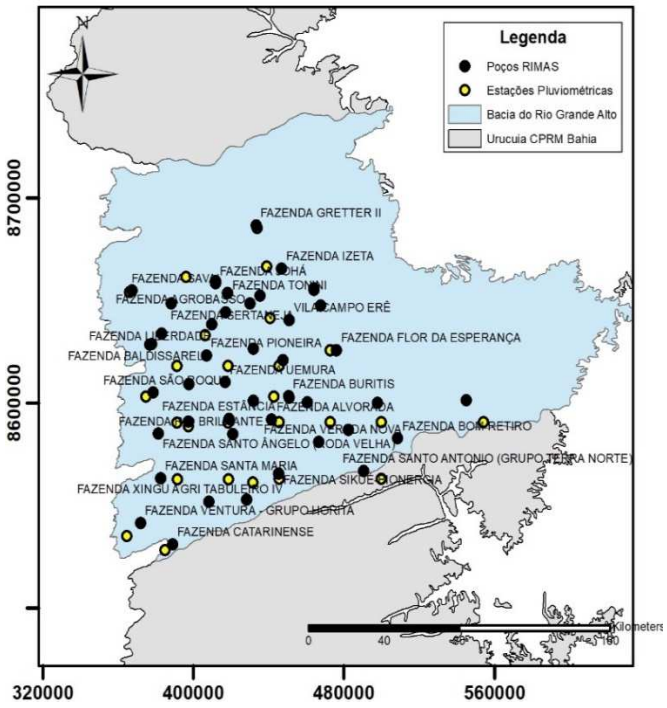

Figura 23 - Distribuição espacial dos poços (em preto) e das estações pluviométricas (em amarelo) na Bacia do Alto rio Grande.

Quadro 11 - Dados de recarga processados para a Bacia do Alto rio Grande.

Poço	Número de Picos	Data das Medições	Litologia	Valor da Recarga (mm/mês)			Recarga/Precipitação (%)		
				Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
2900026863_FazGretterII	2	out/15 - dez/19	Arenito Fino	7,10	14,91	19,88	15,36%	32,25%	43,00%
2900020680_FazSavai	4	set/11 - dez/19	Arenito Fino	3,46	7,26	9,68	7,14%	14,99%	19,99%
2900020677_FazJoha	3	mai/13 - dez/19	Arenito Fino	3,91	8,21	10,95	5,62%	11,80%	15,73%
2900021796_FazIzeta	0	mai/12 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900024869_FazSertaneja	0	ago/12 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900020674_FazTonini	0	mai/13 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900020672_FazSaoJoao	0	ago/13 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900020678_FazBaldissarela	0	set/11 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900021801_FazNovosTempos	1	set/11 - dez/19	Arenito Médio	17,40	30,16	37,12	21,14%	36,64%	45,10%

Continua...

Quadro 11 - Cont.

Poço	Número de Picos	Data das Medições	Litologia	Valor da Recarga (mm/mês)			Recarga/Precipitação (%)		
				Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
2900020676_FazLiberdade	2	set/11 - dez/19	Arenito Fino	7,68	16,13	21,51	13,13%	27,58%	36,78%
2900021799_FazNossaSenhoraFatima	2	set/11 - dez/19	Arenito Fino	11,48	24,12	32,16	17,50%	36,76%	49,01%
2900024871_FazSantaHelena	1	mai/13 - dez/19	Arenito Fino	6,33	13,30	17,73	10,32%	21,68%	28,91%
2900024870_FazAgrobasso	5	ago/12 - dez/19	Arenito Fino	15,99	33,58	44,77	20,37%	42,78%	57,05%
2900020686_FazPontaPedraRio	4	mai/13 - dez/19	Arenito Fino	7,16	15,03	20,05	10,07%	21,15%	28,20%
2900020673_VilaCampoEre	3	out/15 - dez/19	Arenito Fino	9,69	20,35	27,14	11,67%	24,52%	32,69%
2900020675_FazPioneira	0	mai/12 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900024872_FazIrmaosGratt	2	ago/12 - dez/19	Arenito Fino	6,92	14,53	19,37	8,73%	18,34%	24,45%
2900024881_FazSaoRoque	0	ago/12 - dez/15	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900021798_FazChaparral	2	set/11 - dez/19	Arenito Médio	8,39	14,55	17,91	8,65%	15%	18,46%
2900024873_FazUemura	0	ago/12 - dez/19	Arenito Médio	-	-	-	-	-	-
2900020685_FazGalhoFurtado	3	set/11 - dez/19	Arenito Fino	17,77	37,32	49,76	24,35%	51,13%	68,18%
2900020684_FazFlordaEsperança	0	mai/12 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900020687_FazSantoAngelo	0	set/11 - dez/18	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900021797_LotCamposBelos	0	set/11 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900020683_FazEstancia	1	out/15 - dez/19	Arenito Fino	10,17	21,35	28,47	20,78%	43,63%	58,18%
2900024882_FazAlvorada	0	ago/12 - dez/19	Arenito Médio	-	-	-	-	-	-
2900021800_FazSaoMiguel	4	set/11 - dez/19	Arenito Fino	7,07	14,84	19,79	8,59%	18,04%	24,05%
2900020682_FazBuritis	0	set/11 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900024874_FazDurri	2	jun/14 - dez/19	Arenito Médio	10,92	18,92	23,29	20,04%	34,74%	42,76%
2900020681_FazRioBrilhante	3	set/11 - dez/19	Arenito Fino	8,92	18,74	24,99	12,87%	27,03%	36,04%
2900024880_FazSantaMaria	0	ago/12 - dez/16	Arenito Médio	-	-	-	-	-	-
2900029490_FazVentura	0	set/16 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900020689_FazCatarinense	4	set/11 - dez/19	Arenito Médio	15,25	26,43	28,46	18,47%	32,02%	34,48%
2900024877_FazSikueBionergia	3	ago/12 - dez/19	Arenito Médio	5,52	9,58	10,31	6,14%	10,63%	11,45%
2900024878_FazXinguIII	6	ago/12 - dez/19	Arenito Médio	11,71	20,30	21,86	20,23%	35,07%	37,77%
2900024879_FazXinguIV	3	ago/12 - dez/19	Arenito Fino	3,53	7,41	9,88	4,15%	8,72%	11,63%
2900020679_FazCabeceiraGrande	7	nov/11 - dez/19	Arenito Fino	9,61	20,19	26,92	13,20%	27,71%	36,95%
2900024876_FazBomRetiro	5	ago/12 - dez/19	Arenito Fino	7,09	14,88	19,84	8,07%	16,94%	22,59%
2900029484_FazSantoAntonio	2	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	4,61	9,68	12,91	8,25%	17,32%	23,10%
2900020688_FazVeredaNova	7	nov/11 - dez/19	Arenito Médio	13,21	22,89	24,65	16,50%	28,59%	30,79%
2900024875_FazVistaAlegre	1	jun/13 - dez/19	Arenito Médio	1,85	3,20	3,45	3,97%	6,88%	7,41%
2900029482_FazCampoGrande	1	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	5,11	10,73	14,31	11,86%	24,91%	33,21%

Já para a Bacia do rio Corrente (Figura 24) a recarga foi estimada com base em apenas quatro poços da bacia, apesar de haver 14 poços. Não foi possível analisar nenhum pico dos demais, já que os poços foram recém instalados e, assim, não possuem um histórico de medição

da variação do nível de água. Os resultados variaram, em média, de 4,62% a 51% do volume médio anual precipitado no período de dezembro de 2015 a dezembro de 2019 (Quadro 12).

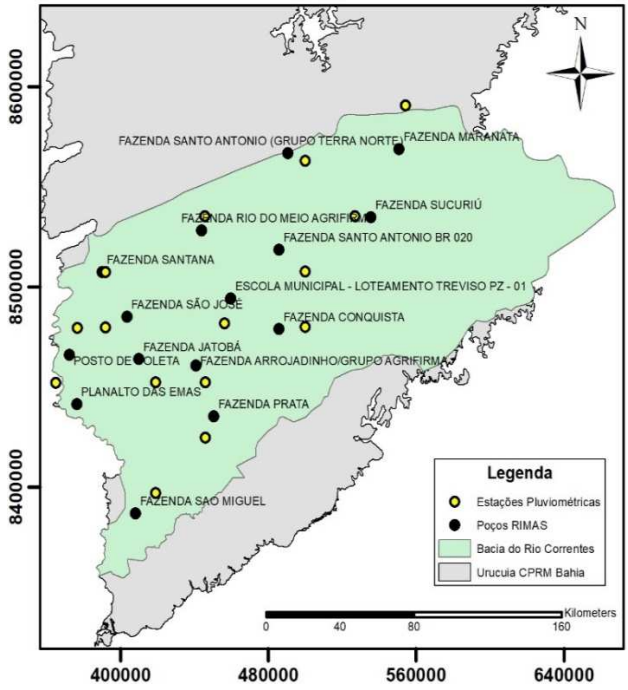

Figura 24 - Distribuição espacial dos poços (em preto) e das estações pluviométricas (em amarelo) na Bacia do rio Corrente.

Quadro 12 - Dados processados para a Bacia do rio Corrente.

Poço	Número de Picos	Data das Medições	Litologia	Valor da Recarga (mm/mês)			Recarga/Precipitação (%)		
				Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
2900029410_FazSaoMiguel	2	ago/16 - dez/19	Arenito Fino	16,315	34,263	45,683	24,28%	51%	68%
2900029480_FazSantoAntonioBR020	0	dez/15 - jan/17	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029481_FazSucuriú	3	ago/16 - dez/19	Arenito Fino	4,833	10,149	13,532	8,68%	18,22%	24,30%
2900029483_FazMaranata	3	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	9,079	19,065	25,420	12,60%	26,47%	35,29%
2900029484_FazSantoAntonio	2	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	2,767	5,810	7,747	4,20%	8,82%	11,77%
2900029485_FazConquista	0	ago/16 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029486_FazSaoJose	1	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	3,455	7,255	9,673	4,92%	10,34%	13,79%
2900029487_FazJatoba	0	dez/15 - dez/17	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029488_FazArrojadinho	0	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029489_FazRiodoMeioAgrifirma	3	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	1,353	2,841	3,788	2,20%	4,62%	6,17%
2900029491_PostodeColeta	2	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	6,653	13,971	18,628	7,73%	16,24%	21,65%
2900029492_EscolaMunicipal_Lote	0	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029522_FazSantana	0	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029480_FazSantoAntonioBR020	0	dez/15 - jan/17	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029523_PlanaltodasEmas	0	dez/18 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-
2900029524_FazPrata	0	dez/15 - dez/19	Arenito Fino	-	-	-	-	-	-

Após o cálculo da recarga a partir do método WTF para todos os 60 poços de monitoramento, chegou-se a 19 poços (Figura 25) em que o resultado foi considerado satisfatório, já que alguns empecilhos foram encontrados, tais como a falta de dados em certos períodos dificultando a interpretação da curva de variação do nível d'água. Além disso, foi possível observar poços em que o nível de água não pareceu responder às chuvas, isso porque esses possuíam um nível de água estático anterior de mais de 20 metros de profundidade.

Sendo assim, a recarga foi estimada nesses 19 poços, com resultados variando em média de 8,72% a 51,13% do volume médio anual precipitado no período de setembro de 2011 a dezembro de 2019 e uma recarga média mensal de 11,43 mm/mês (Quadro 13).

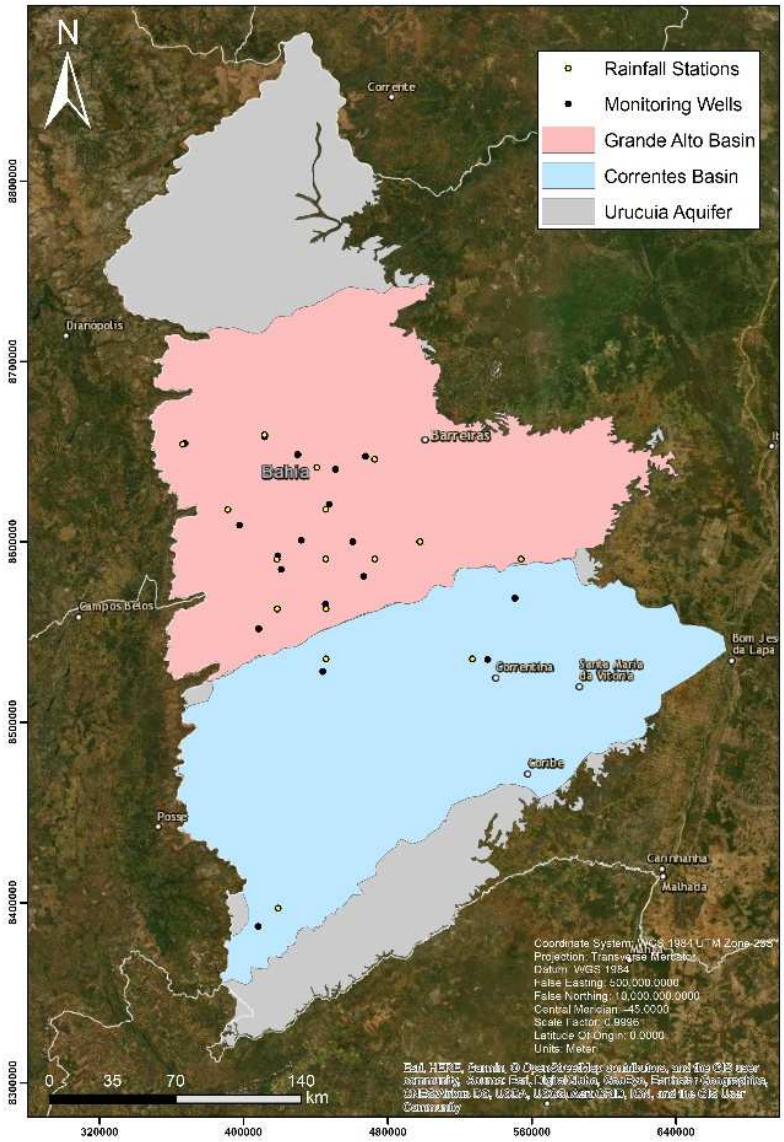

Figura 25 - Distribuição espacial dos poços refinados (em preto) e das estações pluviométricas (em amarelo).

Quadro 13 - Dados refinados das bacias.

Poço	Coordenada Leste	Coordenada Norte	Bacia	Litologia	Número de Picos	Valor da Recarga (mm/mês)	Recarga/ Precipitação (%)
2900020680	367476	8654685	Alto rio Grande	Arenito Fino	4	7,26	14,99%
2900020677	411775	8658229	Alto rio Grande	Arenito Fino	3	8,21	11,80%
2900024870	430205	8648417	Alto rio Grande	Arenito Fino	5	33,58	42,78%
2900020686	467794	8647530	Alto rio Grande	Arenito Fino	4	15,03	21,15%
2900020673	451098	8640289	Alto rio Grande	Arenito Fino	3	20,35	24,52%
2900021798	397771	8609184	Alto rio Grande	Arenito Fino	2	14,55	15%
2900020685	447689	8620777	Alto rio Grande	Arenito Fino	3	37,32	51,13%
2900020683	419033	8592202	Alto rio Grande	Arenito Fino	1	21,35	43,63%
2900021800	432049	8600986	Alto rio Grande	Arenito Médio	4	14,84	18,04%
2900024874	460727	8600124	Alto rio Grande	Arenito Médio	2	18,92	34,74%
2900020681	421075	8584774	Alto rio Grande	Arenito Fino	3	18,74	27,03%
2900024877	445502	8565448	Alto rio Grande	Arenito Fino	3	9,58	10,63%
2900024879	408461	8551710	Alto rio Grande	Arenito Médio	3	7,41	8,72%
2900020679	497843	8600036	Alto rio Grande	Arenito Médio	7	20,19	27,71%
2900020688	466814	8580900	Alto rio Grande	Arenito Fino	7	22,89	28,59%
2900029410	408174	8386812	Rio Corrente	Arenito Fino	2	34,263	51%
2900029481	535619	8534819	Rio Corrente	Arenito Fino	3	10,149	18,22%
2900029483	550859	8568803	Rio Corrente	Arenito Fino	3	19,065	26,47%
2900029489	444006	8528148	Rio Corrente	Arenito Fino	3	2,841	4,62%

Com base nos dados anteriormente apresentados, definiu-se que a recarga estimada para as Bacias do rio Médio Grande, Alto Grande e Corrente foi de, respectivamente, 57,95 mm/ano, 208,26 mm/ano e 160,03 mm/ano. Porém, apenas a bacia do rio Grande possui dados suficientes para que o resultado seja considerado satisfatório e coerente.

A falta de séries de dados mais robustas, espacial e temporalmente, é recorrente no sistema de monitoramento de piezometria de aquíferos no Brasil, o que dificulta uma interpretação eficaz. Ressalte-se que no método WTF considera-se, por exemplo, que a água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e que todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo são nulos durante o período de recarga. Sendo assim utilizaram-se outros métodos de estimativa de recarga para as áreas de estudo, visando melhorar/corroborar os valores de recarga obtidos pelo WTF para cada bacia de detalhe.

4.4.2.2 Simulação no SWAT

4.4.2.2.1 Bacia do Rio Grande

Conforme demonstrado no Quadro 14, para a bacia do rio Grande, foi realizada uma análise de sensibilidade com 13 parâmetros. Os resultados mostraram que RCHRG_DP e ALPHA_BF foram identificados como sendo os parâmetros mais sensíveis nas sub-bacias 1 (Quadro 15 e Quadro 16), respectivamente. Ao final das iterações foram determinadas as faixas de valores ajustados para os 13 parâmetros usados na calibração em cada bacia, assim como os valores da melhor simulação realizada.

Quadro 14 - Análise de sensitividade global para as estações calibradas na bacia do rio Grande.

Sensibilidade Global - SUB 1		
Nome do Parâmetro	**t-Stat**	**Valor-p**
6:V__ESCO.hru	-0,2305	0,8178
4:V__GWQMN.gw	0,6116	0,5411
13:V__CANMX.hru	-0,6952	0,4873
3:V__GW_DELAY.gw	0,8410	0,4008
7:V__EPCO.hru	106	0,3175
12:V__SLSOIL.hru	1,5826	0,1142
8:R__SOL_AWC(..).sol	1,7174	0,0865
10:V__REVAPMN.gw	-1,7335	0,0836
9:R__SOL_K(..).sol	-1,8163	0,0699
2:V__ALPHA_BF.gw	-1,9917	0,0470
5:V__GW_REVAP.gw	2,1419	0,0327
1:R__CN2.mgt	-2,6365	086
11:V__RCHRG_DP.gw	-4,9429	1,06E-06

SOL_AWC: água disponível no solo (mm H_2O); GW_REVAP: coeficiente "revap"; ESCO: fator de compensação de evaporação do solo; CN2: curva número de escoamento para condição de umidade II; REVAPMN: valor limite de profundidade no aquífero raso para que ocorra "revap"; EPCO: fator de compensação de captação da planta; ALPHA_BF: fator alpha do fluxo de retorno; GW_DELAY: tempo de atraso da água subterrânea (dias): GWQMN: valor limite de profundidade para que ocorra fluxo de retorno; SOL_BD: densidade do solo (g/cm³); SOL_K: condutividade hidráulica saturada (mm/h); SLSOIL: comprimento da encosta para fluxo lateral (m); RCHRG_DP: recarga para o aquífero profundo. (Neitsch et al, 2011).

Em relação aos parâmetros estatísticos de avaliação do modelo, pode-se observar, no Quadro 16, que para a bacia do rio Grande foi realizada uma modelagem adequada, com valores satisfatórios em todos os parâmetros estatísticos de análise de desempenho.

Quadro 15 - Intervalo dos parâmetros e valores finais ajustados da melhor simulação para as estações calibradas na bacia do rio Grande.

Valores do melhor Parâmetro - SUB 1			
Nome do Parâmetro	**Valor Médio**	**Valor Min**	**Valor Max**
1:R__CN2.mgt	-0,7374	-0,7900	-0,5900
2:V__ALPHA_BF.gw	001	0	002
3:V__GW_DELAY.gw	36,1	22	45
4:V__GWQMN.gw	944,1	740,0	1100,0
5:V__GW_REVAP.gw	0,0423	0,0200	0,0500
6:V__ESCO.hru	0,2964	0,1900	0,3500
7:V__EPCO.hru	0,7648	0,6800	0,8300
8:R__SOL_AWC(..).sol	0,0196	-0,0650	0,1000
9:R__SOL_K(..).sol	-0,7623	-0,7900	-0,6600
10:V__REVAPMN.gw	301,7	280	400
11:V__RCHRG_DP.gw	0,0125	0	0,1000
12:V__SLSOIL.hru	117	100	118
13:V__CANMX.hru	68,8	65	75

R: relative change; V: replace value. (Abbaspour, 2015)

Quadro 16 - Parâmetros estatísticos de avaliação do modelo para a bacia do rio Grande.

		NS	**R²**	**PBIAS**	**p-factor**	**r-factor**	**Mean_sim (Mean_obs)**	**StdDev_sim (StdDev_obs)**
SITIO GRANDE – SUB 1	Calibration	0,52	0,58	-0,9	0,88	1,3	19,94(19,76)	6,67(6,53)
	Validation	0,55	0,59	-1	0,79	1,16	19,98(19,78)	6,75(7,08)
CASA REAL – SUB 17	Calibration	0,74	0,74	-0,8	0,86	0,99	9,43(9,36)	2,64(3,07)
	Validation	0,63	0,65	-3	0,88	1,14	10,82(10,5)	2,22(3,22)

Moriasi et al (2007) consideram valores de NS acima de 0,5 satisfatórios e valores de PBIAS entre -10 e +10 muito bom. Chung et al (2002)
consideram valores de R² maiores que 0,5 satisfatórios. Abbaspour (2015) considera valores de p-factor acima de 0,7 e r -factor menores que
1,5 satisfatórios.

Na Figura 26 e na

Figura 27 apresentam-se os gráficos com a comparação entre as vazões observadas e a melhor simulação, além da faixa de incerteza (95PPU) do modelo para os pontos de calibração da bacia do rio Grande.

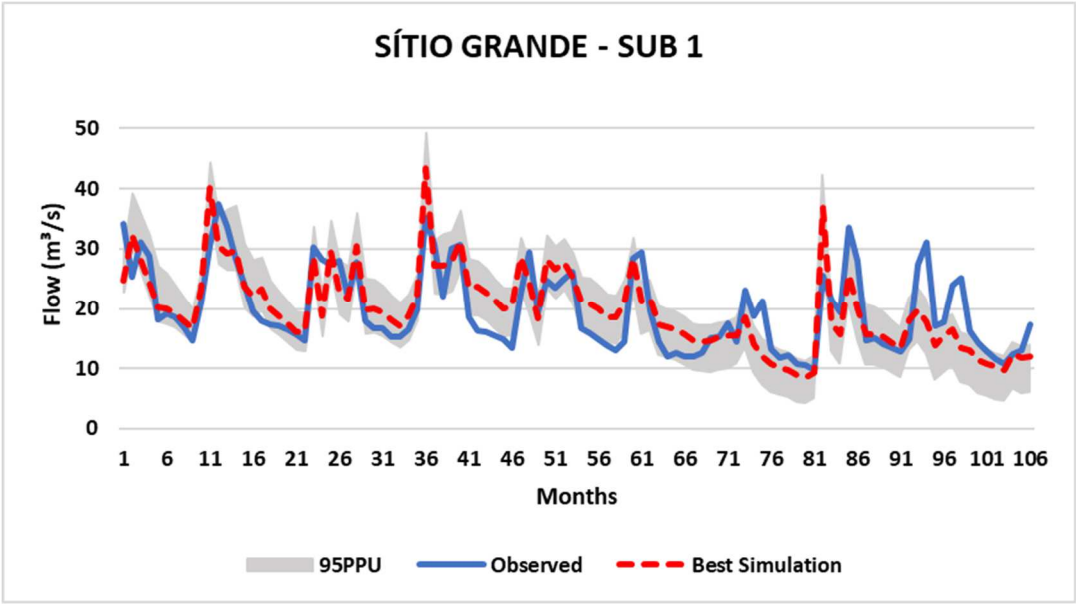

Figura 26 - Gráfico comparando a faixa de valores ajustados (95PPU), melhor simulação e dados observados de vazão para estação do Sítio Grande - SUB1.

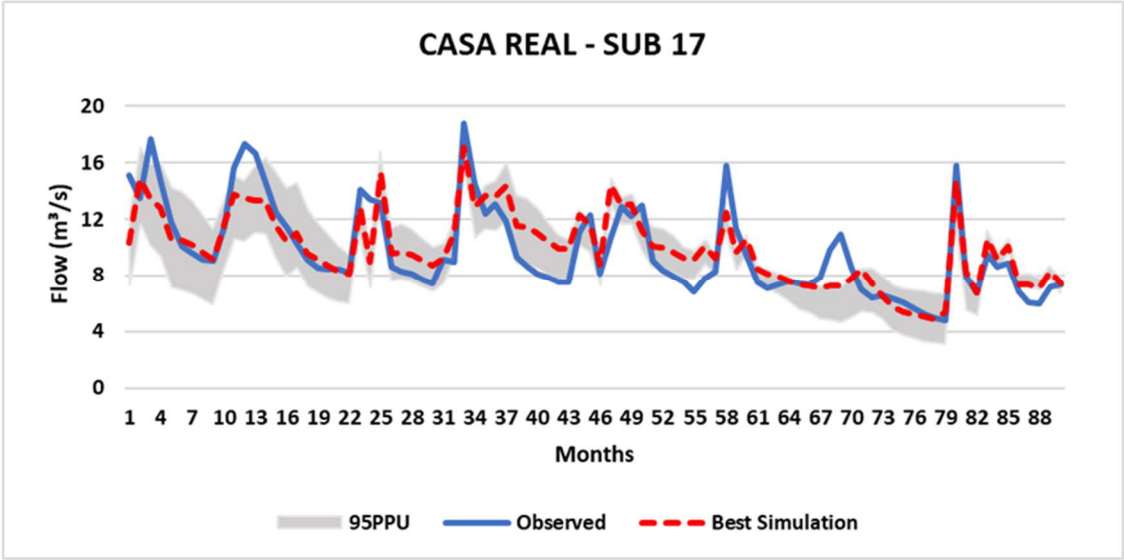

Figura 27 - Gráfico comparando a faixa de valores ajustados (95PPU), melhor simulação e dados observados de vazão para estação do Casa Real – SUB17.

Além dos parâmetros estatísticos usuais, também foram analisados os resultados gerados para o fluxo de base no período simulado, e comparadas as proporções, em relação à vazão total, com trabalhos anteriores na região do oeste da Bahia, de forma a ter mais evidências que validem o modelo.

O modelo gerou um valor médio de fluxo de base de 98,1% do escoamento total para o período de 2011 a 2019. Gaspar (2016) analisou o fluxo de base para toda a bacia do rio Grande no período de 1975 a 2005 e obteve uma média de 94% do escoamento total nesse período. Um trabalho mais recente, de Gonçalves (2018), analisou o fluxo de base em diversas bacias do oeste baiano e obteve um fluxo de base médio no período de 1977 a 2015 de também 94% da vazão total dessa bacia.

O fato de as bacias deste estudo serem altamente manejadas e dos dados detalhados do volume explotado tanto de outorgas superficiais como subterrâneas para incorporação ao modelo serem de difícil acesso podem explicar a superestimação do valor de fluxo de base médio para a bacia do rio Grande.

Por fim, o valor da recarga anual média estimado para o período de 2011 a 2019 para a bacia de detalhe do rio Grande foi de 215,2 mm/ano, que equivale a 21,7% do valor anual médio precipitado nesse período.

4.4.2.2.2 Bacia dos Rios Corrente e Arrojado

Conforme demonstrado no Quadro 17, para a bacia dos rios Corrente e Arrojado, foi realizada uma análise de sensibilidade com 13 parâmetros. SOL_AWC e SOL_K foram identificados como sendo os parâmetros mais sensíveis nas sub-bacias 1 e 8, respectivamente. Como havia mais estações fluviométricas disponíveis para a bacia do Corrente e Arrojado, a sub-bacia 2 foi utilizada para validação cruzada, isto é, foi calibrada a estação mais a montante (sub-bacia 1) e a estação a jusante (sub-bacia 2) serviu apenas como forma de validação do modelo, sem alteração dos parâmetros. Ao final das iterações foram determinadas as faixas de valores ajustados para os 13 parâmetros usados na calibração em cada bacia, assim como os valores da melhor simulação realizada. Esses dados podem ser vistos no Quadro 18.

Quadro 17 - Análise de sensitividade global para as estações calibradas na bacia do Corrente e Arrojado.

Sensibilidade Global - SUB 1			**Sensibilidade Global - SUB 8**		
Nome do Parâmetro	**t-Stat**	**Valor-p**	Nome do Parâmetro	**t-Stat**	**Valor-p**
11:R__SOL_K(..).sol	0,04	0,97	**4:V__GWQMN.gw**	0,01	0,99
7:V__REVAPMN.gw	0,23	0,82	**5:R__SOL_AWC(..).sol**	-0,21	0,83
9:V__ESCO.hru	-0,23	0,82	**9:V__GW_REVAP.gw**	-0,46	0,65
3:V__SLSOIL.hru	-0,25	0,80	**8:V__REVAPMN.gw**	-1,24	0,21
4:V__ALPHA_BF.gw	0,33	0,74	**13:V__CANMX.hru**	-1,88	0,06
2:R__CN2.mgt	-0,45	0,65	**3:V__GW_DELAY.gw**	1,99	0,05
13:V__GW_DELAY.gw	0,89	0,38	**6:V__ESCO.hru**	2,45	0,01
1:V__CANMX.hru	1,55	0,12	**1:R__CN2.mgt**	-3,52	0
10:V__EPCO.hru	2,42	0,02	**12:V__SLSOIL.hru**	5,14	0
6:V__GW_REVAP.gw	3,46	0	**10:V__RCHRG_DP.gw**	-7,08	0
8:V__RCHRG_DP.gw	4,36	0	**2:V__ALPHA_BF.gw**	8,89	0
5:V__GWQMN.gw	6,17	0	**7:V__EPCO.hru**	-10,56	0
12:R__SOL_AWC(..).sol	10,16	0	**11:R__SOL_K(..).sol**	-11,14	0

SOL_AWC: água disponível no solo (mm H_2O); GW_REVAP: coeficiente "revap"; ESCO: fator de compensação de evaporação do solo; CN2: curva número de escoamento para condição de umidade II; REVAPMN: valor limite de profundidade no aquífero raso para que ocorra "revap"; EPCO: fator de compensação de captação da planta; ALPHA_BF: fator alpha do fluxo de retorno; GW_DELAY: tempo de atraso da água subterrânea (dias): GWQMN: valor limite de profundidade para que ocorra fluxo de retorno; CANMX: máximo de água interceptada pela vegetação; SOL_K: condutividade hidráulica saturada (mm/h); SLSOIL: comprimento da encosta para fluxo lateral (m); RCHRG_DP: recarga para o aquífero profundo. (Neitsch et al, 2011).

Quadro 18 - Intervalo dos parâmetros e valores finais ajustados da melhor simulação para as estações calibradas na bacia do Corrente e Arrojado.

Melhores Valores dos Parâmetros - SUB 1				**Melhores Valores dos Parâmetros - SUB 8**			
Nome do Parâmetro	**Valor Méd**	**Valor Min**	**Valor Max**	Nome do Parâmetro	**Valor Méd**	**Valor Min**	**Valor Max**
1:V__CANMX.hru	75,73	59,02	77,12	**1:R__CN2.mgt**	-0,40	-0,41	-0,34
2:R__CN2.mgt	-0,52	-0,53	-0,49	**2:V__ALPHA_BF.gw**	0	0	0
3:V__SLSOIL.hru	144,25	133,33	146,16	**3:V__GW_DELAY.gw**	29,23	22	47
4:V__ALPHA_BF.gw	0,78	0,77	0,82	**4:V__GWQMN.gw**	378,15	345	440,0
5:V__GWQMN.gw	2826,49	2645,64	3003,76	**5:R__SOL_AWC(..).sol**	0,02	-0,04	0,04
6:V__GW_REVAP.gw	0,03	0,03	0,04	**6:V__ESCO.hru**	0,20	0,20	0,25
7:V__REVAPMN.gw	403,1	377,9	459,34	**7:V__EPCO.hru**	0,22	0,18	0,46
8:V__RCHRG_DP.gw	0,51	0,48	0,53	**8:V__REVAPMN.gw**	605,74	583	653,4
9:V__ESCO.hru	0,35	0,30	0,37	**9:V__GW_REVAP.gw**	0,02	0,02	0,04
10:V__EPCO.hru	0,03	0,03	0,09	**10:V__RCHRG_DP.gw**	0,11	0,10	0,19
11:R__SOL_K(..).sol	-0,18	-0,19	-0,14	**11:R__SOL_K(..).sol**	-0,41	-0,43	-0,07
12:R__SOL_AWC(..).sol	-0,81	-0,82	-0,74	**12:V__SLSOIL.hru**	99,21	96	105,4
13:V__GW_DELAY.gw	429,9	404,90	480,71	**13:V__CANMX.hru**	61,73	60,40	63,30

R: relative change; V: replace value. (Abbaspour, 2015).

Em relação aos parâmetros estatísticos de avaliação do modelo, pode-se observar, no Quadro 19, que para a bacia dos rios Corrente e Arrojado foi realizada uma modelagem adequada, com valores satisfatórios em todos os parâmetros estatísticos de análise de desempenho. Além disso o modelo consegue reproduzir 81% dos valores observados com uma faixa de incerteza considerada adequada.

Pequenas inconsistências são esperadas em bacias com diversidade de uso dos recursos hídricos, manejo e represamento (Abbaspour et al, 2015), como é o caso da área de estudo.

Quadro 19 - Parâmetros estatísticos de avaliação do modelo para a bacia do rio Corrente e Arrojado

		NS	**R²**	**PBIAS**	**p-factor**	**r-factor**	**Mean_sim (Mean_obs)**	**StdDev_sim (StdDev_obs)**
ARROJADO - SUB 9	Calibration	0,72	0,76	0	0,94	1,31	43,19(43,20)	9,84(9,15)
	Validation	0,54	0,69	2,6	0,91	1,45	38,82(39,86)	10,38(8,65)
VEREDÃO - SUB 2	Calibration	0,56	0,69	0,2	0,92	1,47	16,68(16,71)	4,13(3,44)
	Validation	0,68	0,71	0,2	0,96	1,58	16,65(16,68)	3,56(3,54)
CORRENTINA - SUB 3	Validation	0,49	0,56	2,1	0,81	1,1	24,77(25,29)	4,74(4,72)

Moriasi et al (2007) considera valores de NS acima de 0,5 satisfatórios e valores de PBIAS entre -10 e +10 muito bom. Chung et al (2002) considera valores de R² maiores que 0,5 satisfatórios. Abbaspour (2015) considera valores de p-factor acima de 0,7 e r-factor menores que 1,5 satisfatórios.

Na Figura 28 e na Figura 29 pode-se ver os gráficos com a comparação entre as vazões observadas e a melhor simulação, além da faixa de incerteza (95PPU) do modelo para os pontos

de calibração da bacia do Corrente e Arrojado. Na Figura 30 podemos ver o resultado da validação cruzada para a sub-bacia 2.

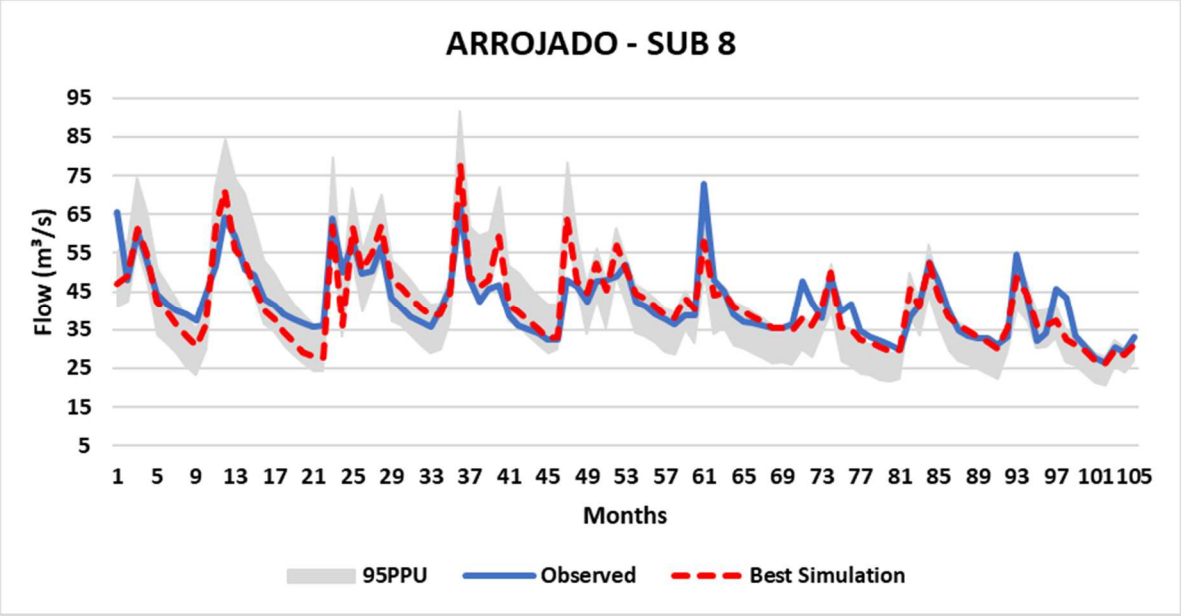

Figura 28 - Gráfico comparando a faixa de valores ajustados (95PPU), melhor simulação e dados observados de vazão para estação do Arrojado – SUB8.

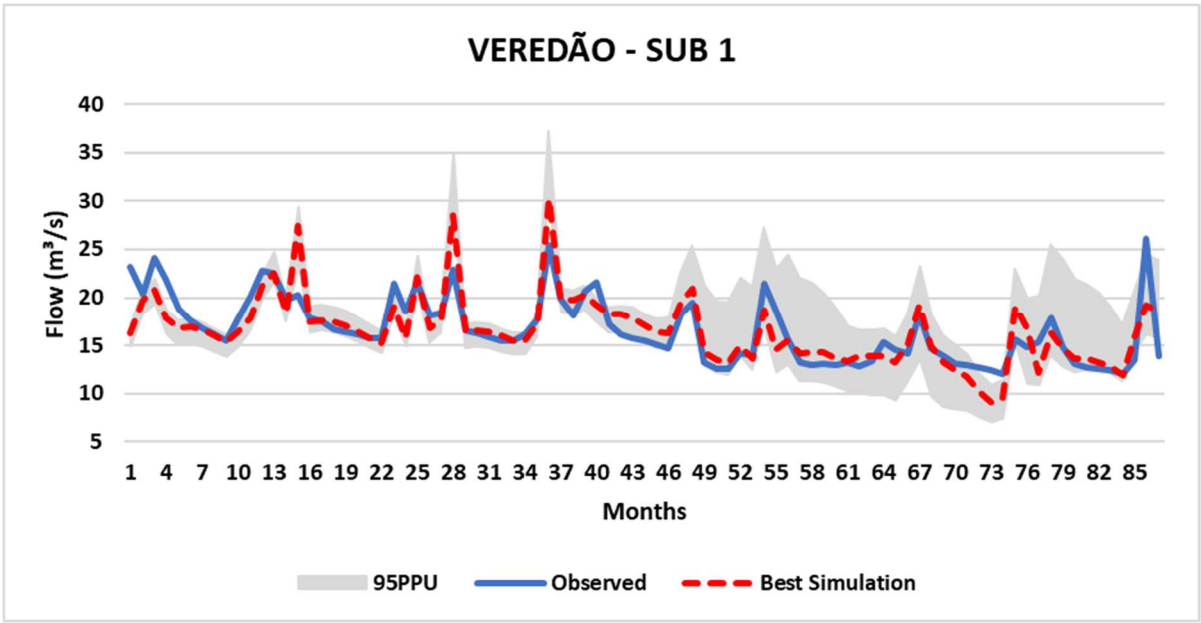

Figura 29 - Gráfico comparando a faixa de valores ajustados (95PPU), melhor simulação e dados observados de vazão para estação do Veredão – SUB1.

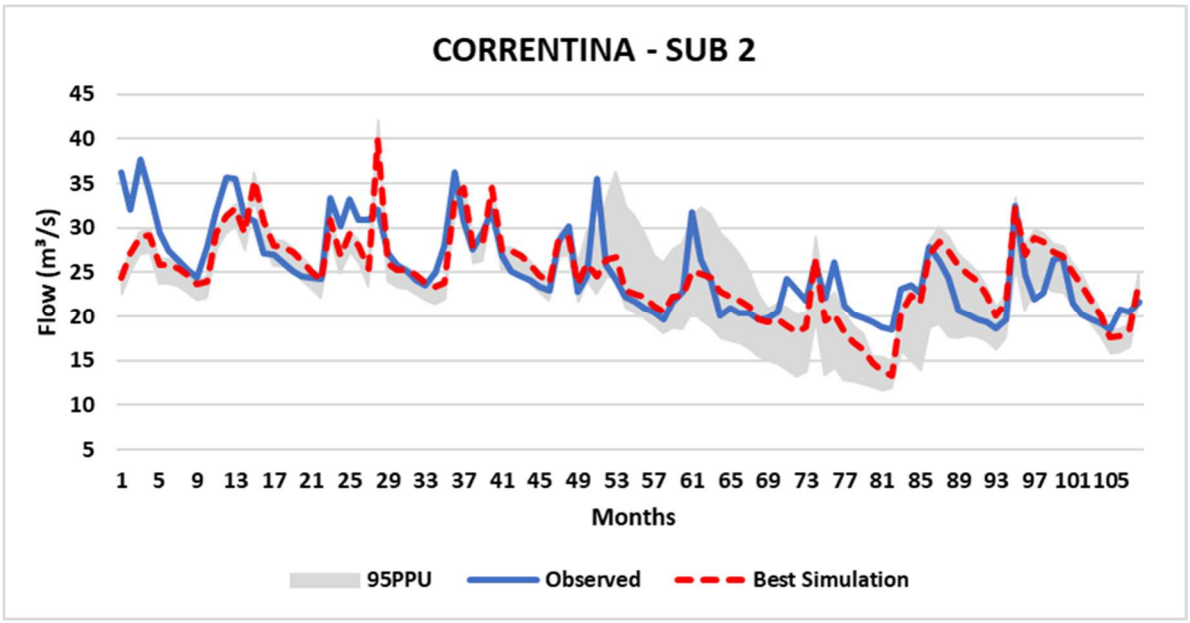

Figura 30 - Gráfico comparando a faixa de valores ajustados (95PPU), melhor simulação e dados observados de vazão na validação cruzada da estação Correntina – SUB2.

Assim como na bacia do rio Grande, também foram analisados os resultados gerados para o fluxo de base no período simulado, e os resultados foram comparados com trabalhos anteriores, de forma a ter mais evidências que validassem o modelo.

O modelo gerou um valor médio de fluxo de base de 96,2% do escoamento total para o período de 2011 a 2019. Gaspar (2016) analisou o fluxo de base para toda a bacia do rio Corrente no período de 1975 a 2005 e obteve uma média de 93% do escoamento total nesse período. Já no trabalho mais recente, de Gonçalves (2018), o fluxo de base médio no período de 1977 a 2015 para as estações da região dos rios Corrente e Arrojado foi de 95,1% da vazão total. Dessa forma, o modelo obteve uma proporção média do fluxo de base bastante semelhante aos trabalhos da literatura.

Por fim, o valor da recarga anual médio estimado para o período de 2011 a 2019 na bacia de detalhe dos rios Corrente e Arrojado foi de 295,5 mm/ano, que equivale a 29,7% do valor anual médio precipitado nesse período.

Com base nos resultados apresentados, a recarga estimada para as bacias de detalhe do rio Grande e Corrente e Arrojado foram de, respectivamente, 215,2 mm (21,7%) e 295,5 mm (29,7%) do volume médio precipitado no período entre 2011 e 2019. Os valores estimados pela modelagem com o SWAT se mostram semelhantes aos estimados em diversos poços nas mesmas regiões com o método WTF.

4.4.3 Atualização do Modelo Numérico

Os arquivos com o novo modelo numérico elaborado nesta segunda etapa do estudo, conforme a metodologia descrita anteriormente, assim como os resultados e dados brutos do modelo da primeira etapa, encontram-se disponíveis para download na página do Sistema OBahia (http://obahia.dea.ufv.br).

4.4.3.1 Descritivo do Processo de Calibração

O processo de calibração em regime permanente foi conduzido de forma iterativa e visou obter a melhor correspondência possível entre os valores de carga hidráulica e fluxo de base calculados pelo modelo e aqueles medidos em campo. Ao longo do processo de calibração foram feitos os seguintes ajustes nos parâmetros de entrada:

- Variação dos valores de condutividade hidráulica das duas unidades hidroestratigráficas, dentro dos intervalos pré-definidos de valores possíveis; e
- Ajustes nos valores de recarga atribuídos a cada uma das zonas de recarga definidas.

Na Figura 31 até a Figura 34 apresentam-se os gráficos de dispersão com a correspondência obtida entre as cargas hidráulicas observadas em campo (eixo X) e calculadas pelo modelo (eixo Y) para os modelos descritos neste relatório. As linhas diagonais nos gráficos das figuras representam a calibração ideal, ou seja, caso houvesse uma correspondência perfeita entre cargas hidráulicas observadas e calculadas pelo modelo.

Na realidade, entretanto, sempre haverá um desvio, haja vista que o modelo sempre será uma representação simplificada do ambiente hidrogeológico real, no qual há um grau de heterogeneidade e anisotropia dos sistemas aquíferos usualmente muito superior ao que é possível capturar por investigações de campo. Ou seja, todo modelo carrega um certo grau de incerteza, que por sua vez está associado à incerteza dos dados de campo, tais como a imprecisão nas medidas de cota topográfica dos poços de observação, a topografia utilizada para o modelo numérico (no presente estudo foi obtida a partir de imagens de satélite), imprecisões na medição de carga hidráulica durante os testes de aquíferos, bem como o ajuste de parâmetros durante a interpretação dos testes. Estas incertezas se propagam nos resultados do modelo, podendo gerar desvios entre os dados observados e calculados de um determinado parâmetro de amostragem, no caso, a carga hidráulica.

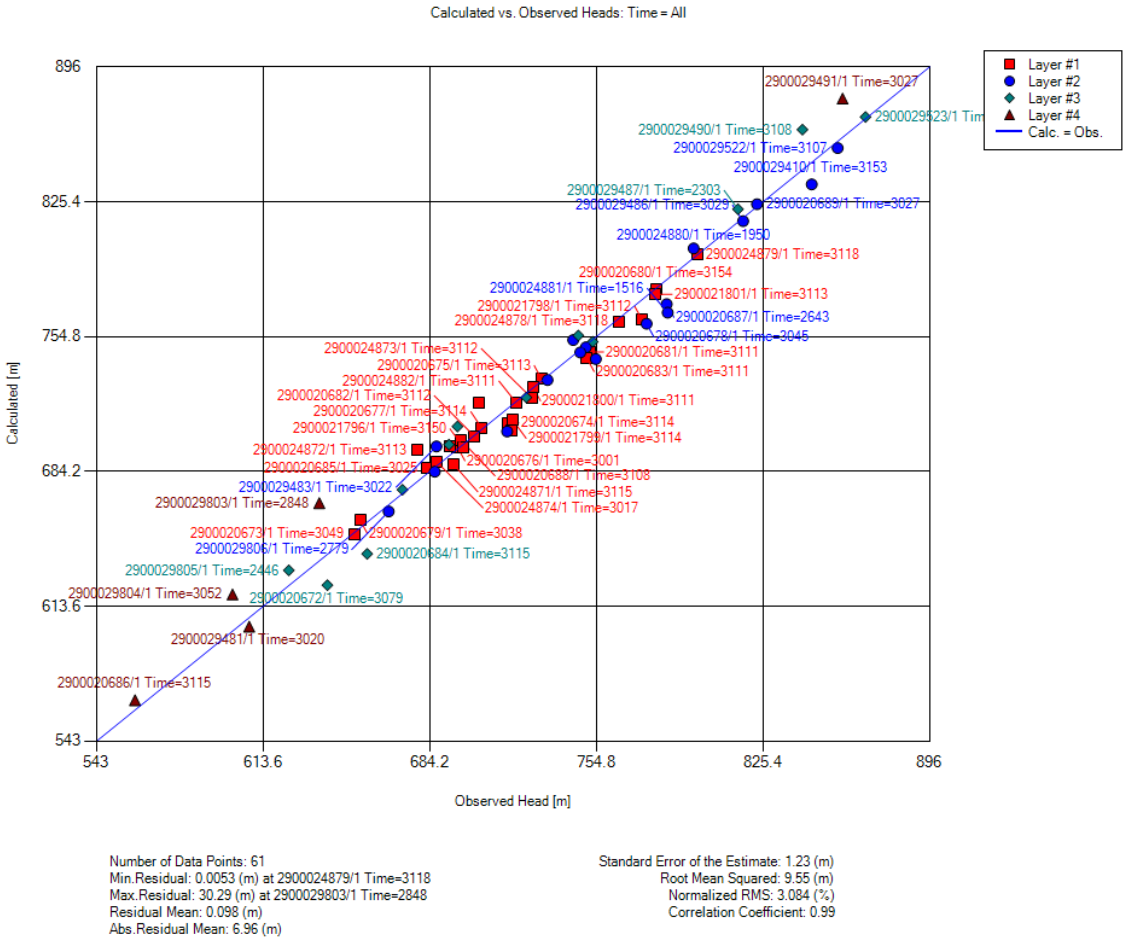

Figura 31 - Gráfico de correlação (scatter plot) entre as cargas hidráulicas observadas e as calculadas pelo modelo regional.

Para o modelo regional a média quadrática dos erros (*RMS*) obtida foi de cerca de 18,96 metros, com a média quadrática dos erros normalizada (*NRMS*, que leva em consideração a variação total entre o nível máximo e o nível mínimo observado) de aproximadamente 3,08%. De maneira geral, um valor de NRMS abaixo de 10% é internacionalmente considerado adequado no que diz respeito à calibração das cargas hidráulicas de um modelo numérico de fluxo.

Dadas as incertezas associadas à taxa de recarga e aos valores dos parâmetros hidrodinâmicos, somadas à escala regional da avaliação, o valor de 3,08% de *NRMS* é considerado bastante satisfatório. Destaca-se também o coeficiente de correlação entre os valores observados e calculados, de 0,99 (99%).

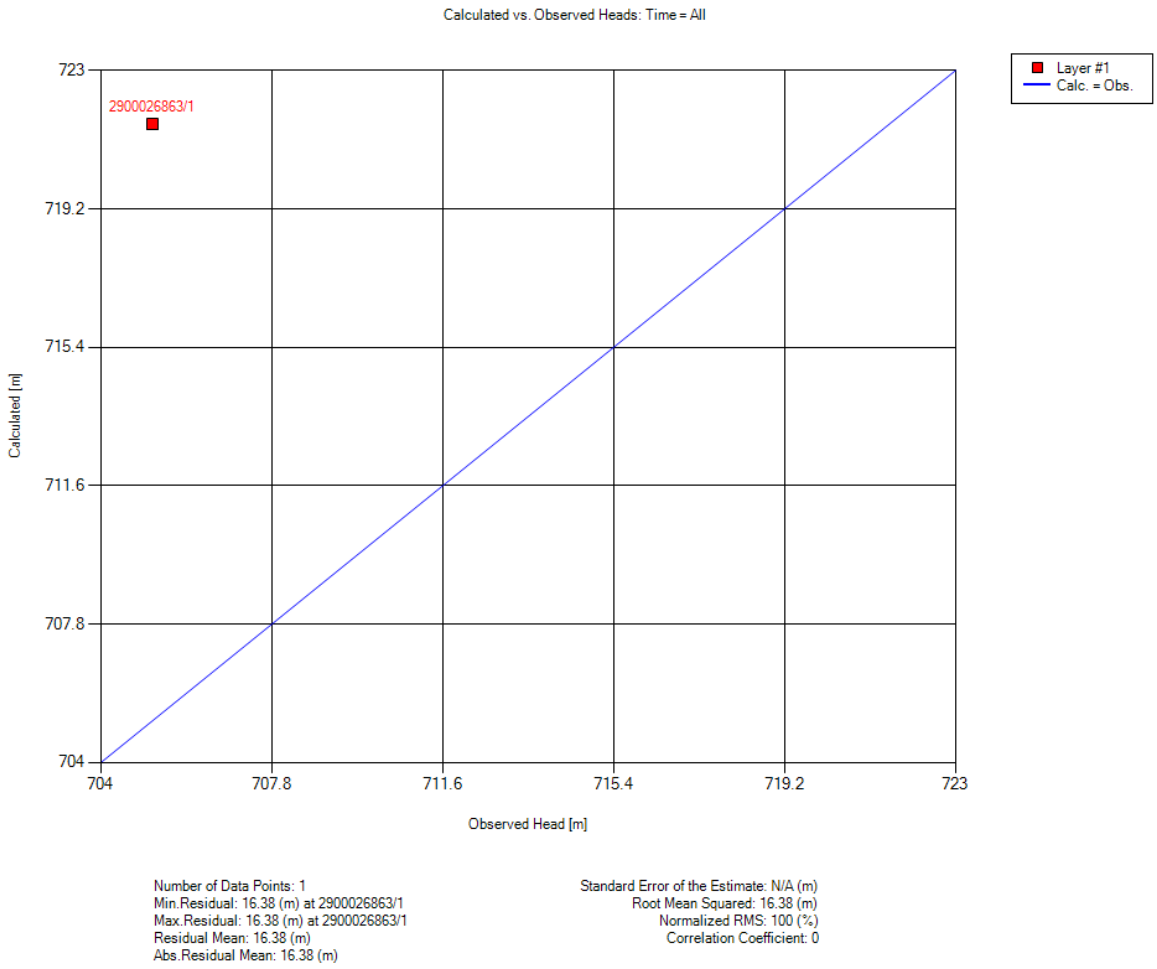

Figura 32 - Gráfico de correlação (scatter plot) entre as cargas hidráulicas observadas e as calculadas pelo modelo local da sub-bacia do rio Branco.

Para o modelo local da sub-bacia do rio Branco, situada no Alto rio Grande, a média quadrática dos erros (*RMS*) obtida foi de cerca de 16,38 metros, com a média quadrática dos erros normalizada (*NRMS*, que leva em consideração a variação total entre o nível máximo e o nível mínimo observado) obtida de praticamente 100%. Como este modelo possui apenas um ponto de calibração, métricas estáticas como *NRMS*, *RMS* e até mesmo o coeficiente de regressão linear não possuem representatividade estatística para avaliar a qualidade do modelo, uma vez que não há comparação com outros pontos amostrais. Ainda podem existir erros amostrais, construtivos, e incertezas que não garantem uma confiabilidade deste único ponto amostral.

Com base nisto, destaca se a importância da aquisição urgente de novos pontos de observação nesta área, de maneira a garantir uma maior precisão e acurácia resultados oriundos deste modelo local. Pelo exposto, considera-se que, para a região da bacia do rio Branco, o modelo numérico deve ser utilizado apenas como ferramenta de avaliação de fluxos regionais.

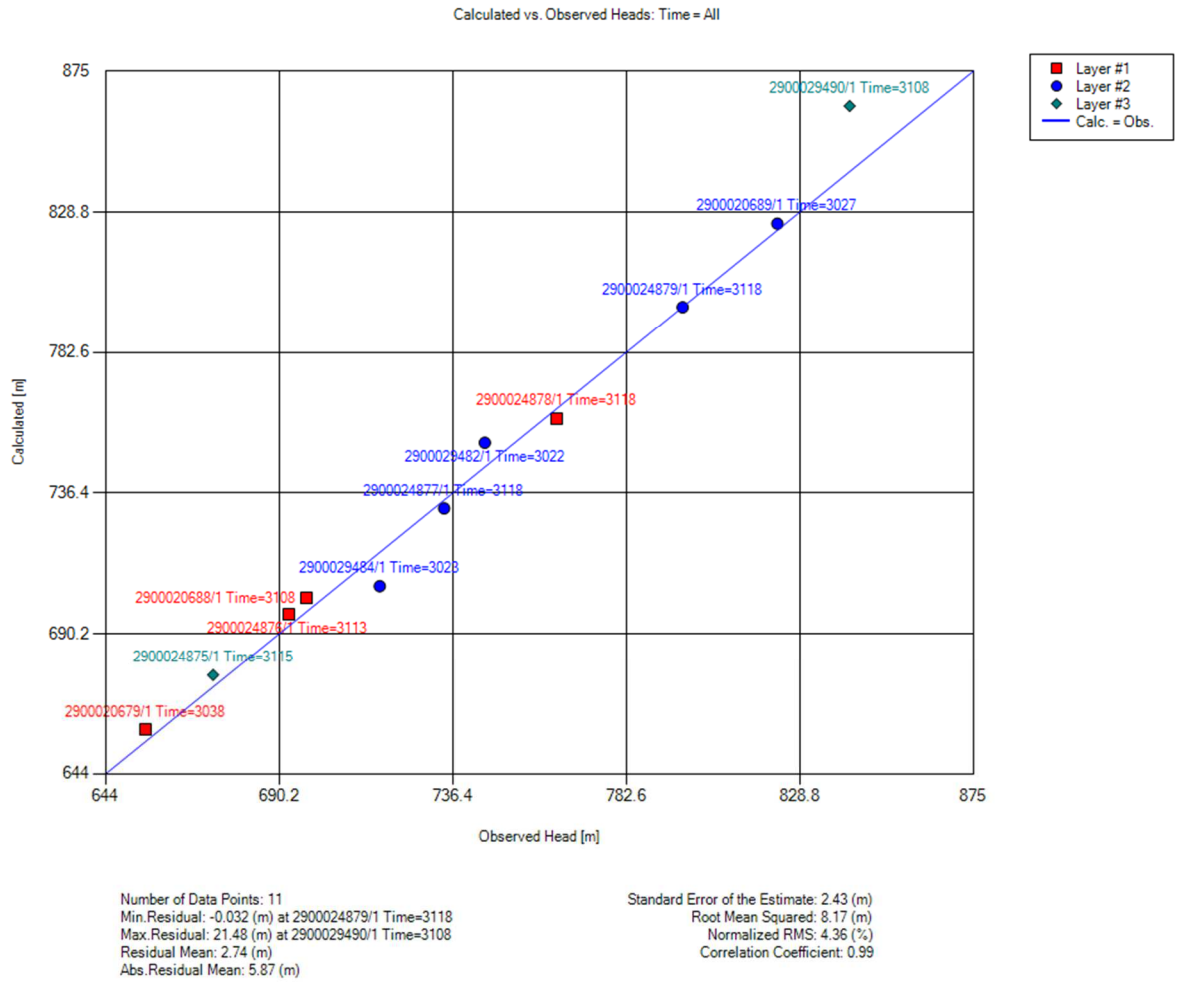

Figura 33 - Gráfico de correlação (scatter plot) entre as cargas hidráulicas observadas e as calculadas pelo modelo local da sub-bacia do rio Grande.

Para o modelo local da sub-bacia do rio Grande a média quadrática dos erros (*RMS*) obtida foi de 2,74 metros, com a média quadrática dos erros normalizada (*NRMS*) de 4,36%. Neste sentido, e considerando-se o exposto anteriormente, considera-se que o modelo numérico da bacia do rio Grande resultou em uma calibração aceitável, mas novos dados devem ser obtidos para melhorar a sua representatividade. Destaca-se também o coeficiente de correlação entre os valores observados e calculados, de 0,99 (99%).

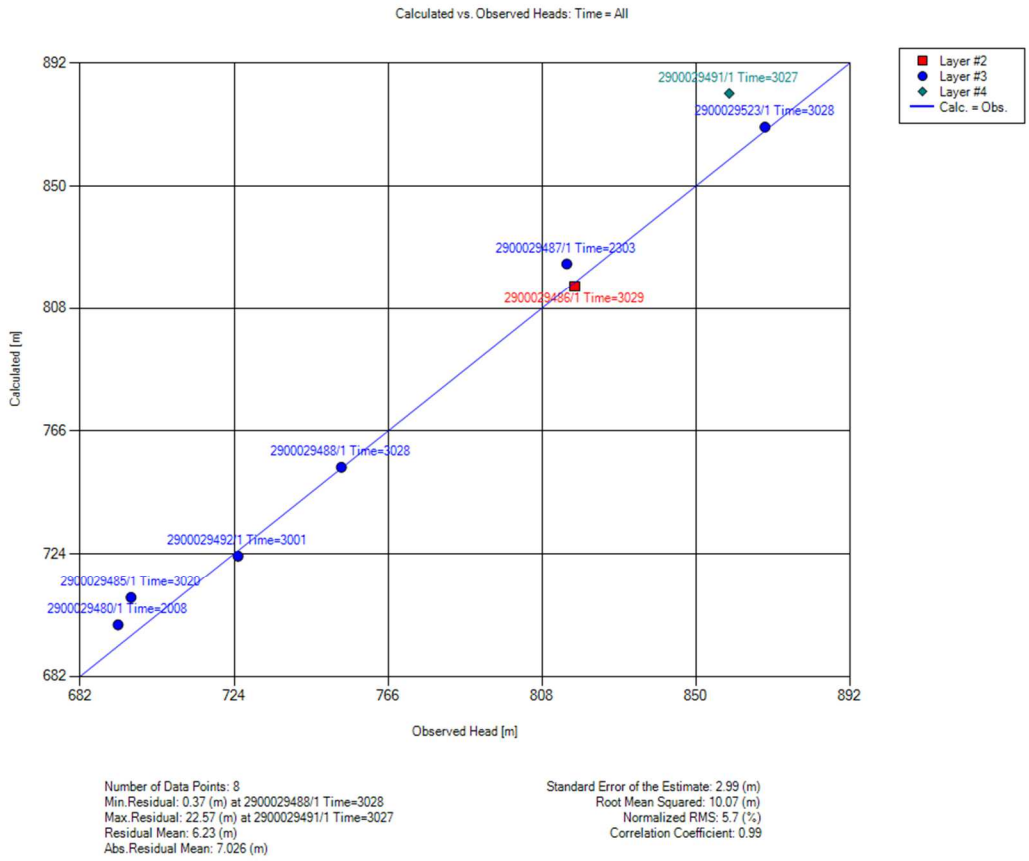

Figura 34 - Gráfico de correlação (scatter plot) entre as cargas hidráulicas observadas e as calculadas pelo modelo local da sub-bacia do rio Corrente/Arrojado.

Para o modelo local da sub-bacia do rio Corrente/Arrojado, a média quadrática dos erros (*RMS*) obtida foi de 6,23 metros, com a *NRMS* obtida de 5,7%. Para essa bacia valem os comentários já realizados para a bacia do rio Grande, ou seja, há a necessidade de obtenção de novos dados para melhorar a sua representatividade. Destaca-se também o coeficiente de correlação entre os valores observados e calculados, de 0,99 (99%).

O Quadro 20 apresenta as características gerais dos pontos de observação e uma comparação entre as cargas hidráulicas observadas e as calculadas pelo modelo.

Quadro 20 - Cargas hidráulicas observadas e calculadas nos pontos de observação após a calibração.

Nome	X (m)	Y (m)	Z (m)	Camada	Calculado (m)	Observado (m)	Resíduo (m)
2900020672	464000	8660000	640.77	3	624.64	640.77	16.13
2900020673	451000	8640000	652.51	1	651.4	652.51	1.11
2900020674	418000	8650000	717.52	1	709.59	717.52	7.93
2900020675	407000	8620000	731.49	1	732.74	731.49	-1.25
2900020676	410000	8640000	695.99	1	696.69	695.99	-0.7
2900020677	412000	8660000	706.05	1	707.09	706.05	-1.04
2900020678	378000	8630000	776.04	2	761.51	776.04	14.58
2900020679	498000	8600000	654.66	1	658.52	654.66	-3.86

Continua...

Quadro 20 - Cont.

Nome	X (m)	Y (m)	Z (m)	Camada	Calculado (m)	Observado (m)	Resíduo (m)
2900020680	367000	8650000	780.41	1	779.37	780.41	1.07
2900020681	421000	8580000	752.03	1	746.8	752.03	5.23
2900020682	451000	8600000	703.14	1	702.47	703.14	0.67
2900020683	419000	8590000	750.75	1	743.37	750.75	7.38
2900020684	476000	8630000	657.64	3	641.04	657.64	16.6
2900020685	448000	8620000	683.25	1	685.92	683.25	-2.67
2900020686	468000	8650000	559.27	4	564.43	559.27	-5.16
2900020687	381000	8590000	784.55	2	771.79	784.55	12.81
2900020688	467000	8580000	697.54	1	700.41	697.54	-2.87
2900020689	389000	8530000	822.82	2	824.08	822.82	-1.21
2900021796	447000	8670000	698.59	1	696.68	698.59	1.91
2900021797	397000	8590000	750.33	2	749.19	750.33	1.14
2900021798	398000	8610000	774.1	1	763.65	774.1	10.46
2900021799	417000	8640000	719.15	1	711.36	719.15	7.79
2900021800	432000	8600000	728.04	1	728.03	728.04	0.01
2900021801	383000	8630000	779.66	1	776.92	779.66	2.74
2900024869	388000	8650000	754.53	2	743.05	754.53	11.48
2900024870	430000	8650000	718.79	1	705.29	718.79	13.5
2900024871	436000	8650000	694.45	1	687.67	694.45	6.78
2900024872	432000	8630000	678.74	1	695.57	678.74	-16.83
2900024873	417000	8610000	727.28	1	722.74	727.28	4.54
2900024874	461000	8600000	686.9	1	689.38	686.9	-2.48
2900024875	483000	8590000	672.61	3	674.63	672.61	-2.02
2900024876	509000	8580000	692.68	1	697.13	692.68	-4.45
2900024877	446000	8570000	734.08	2	732.06	734.08	2.02
2900024878	428000	8550000	764.2	1	762.67	764.2	1.53
2900024879	408000	8550000	797.59	1	797.59	797.59	0
2900024880	383000	8560000	795.97	2	800.94	795.97	-4.96
2900024881	379000	8600000	784.99	2	767.31	784.99	17.75
2900024882	442000	8590000	720.75	1	720.25	720.75	0.5
2900026863	433000	8690000	705.14	1	719.99	705.14	-14.85
2900029410	408000	8390000	846.01	2	834.5	846.01	11.51
2900029480	486000	8520000	692.33	3	698.23	692.33	-5.9
2900029481	536000	8530000	607.65	4	603	607.65	4.64
2900029482	545000	8600000	744.92	2	752.97	744.92	-8.05
2900029483	551000	8570000	686.98	2	697.31	686.98	-10.32
2900029484	491000	8570000	716.95	2	705.1	716.95	11.85
2900029485	486000	8480000	695.87	3	707.73	695.87	-11.87
2900029486	404000	8490000	816.94	2	815.24	816.94	1.7
2900029487	410000	8460000	814.77	3	821.48	814.77	-6.71
2900029488	441000	8460000	753.26	3	752.06	753.26	1.2
2900029489	444000	8530000	747.93	2	746.48	747.93	1.45

Continua...

Quadro 20 - Cont.

Nome	X (m)	Y (m)	Z (m)	Camada	Calculado (m)	Observado (m)	Resíduo (m)
2900029490	372000	8540000	842.08	3	863.13	842.08	-21.78
2900029491	372000	8470000	859.09	4	879.39	859.09	-20.3
2900029492	460000	8490000	725.08	3	722.91	725.08	2.17
2900029522	390000	8510000	857.01	2	853.49	857.01	3.52
2900029523	376000	8440000	868.86	3	869.75	868.86	-0.9
2900029524	451000	8440000	747.15	3	755.37	747.15	-8.22
2900029803	445000	8840000	637.35	4	667.64	637.35	-30.27
2900029804	461000	8810000	600.58	4	619.81	600.58	-19.22
2900029805	370000	8820000	624.49	3	632.43	624.49	-8.06
2900029806	385000	8790000	666.76	2	663.25	666.76	3.51
2900029807	361000	8790000	686.3	2	684.05	686.3	2.25

A Figura 35 apresenta a superfície potenciométrica obtida após a calibração do modelo regional. O fluxo ocorre de oeste para leste com as cargas hidráulicas variando de 966,77 m a 395,73 m. A região próxima aos limites oeste do modelo, por estar próxima ao divisor hidrogeológico, pode incorporar mais erros ao modelo. Portanto, simulações próximas a esta região estão sujeitas a uma maior diferença entre dados observados e calculados pelo modelo.

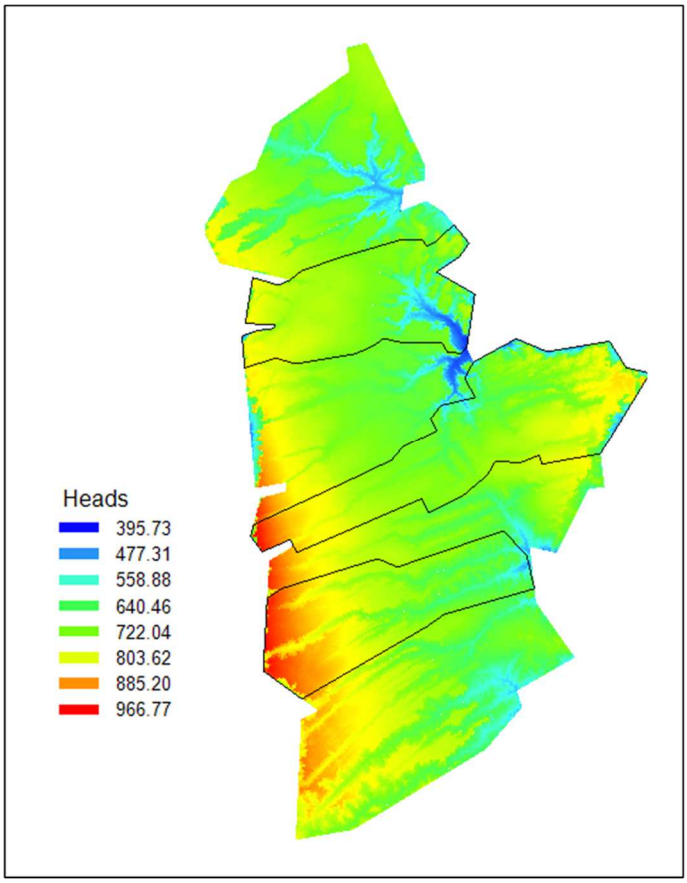

Figura 35 - Superfície potenciométrica obtida para o modelo numérico de fluxo regional após a calibração (m), com a demarcação dos modelos de detalhe.

A Figura 36 até a Figura 38 apresentam os mapas potenciométricos das bacias de detalhe. Esses modelos foram construídos em malhas mais detalhadas, o que permite a realização de simulações em regiões de interesse.

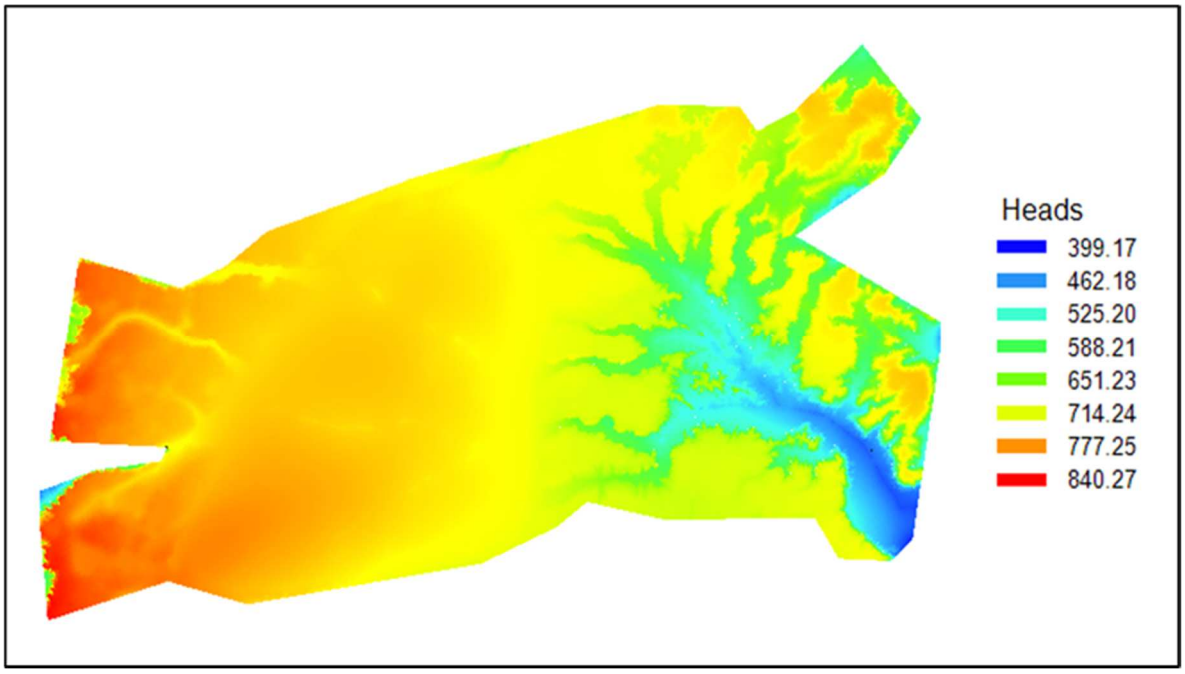

Figura 36 - Superfície potenciométrica obtida para o modelo numérico de fluxo da bacia do rio Branco após a calibração.

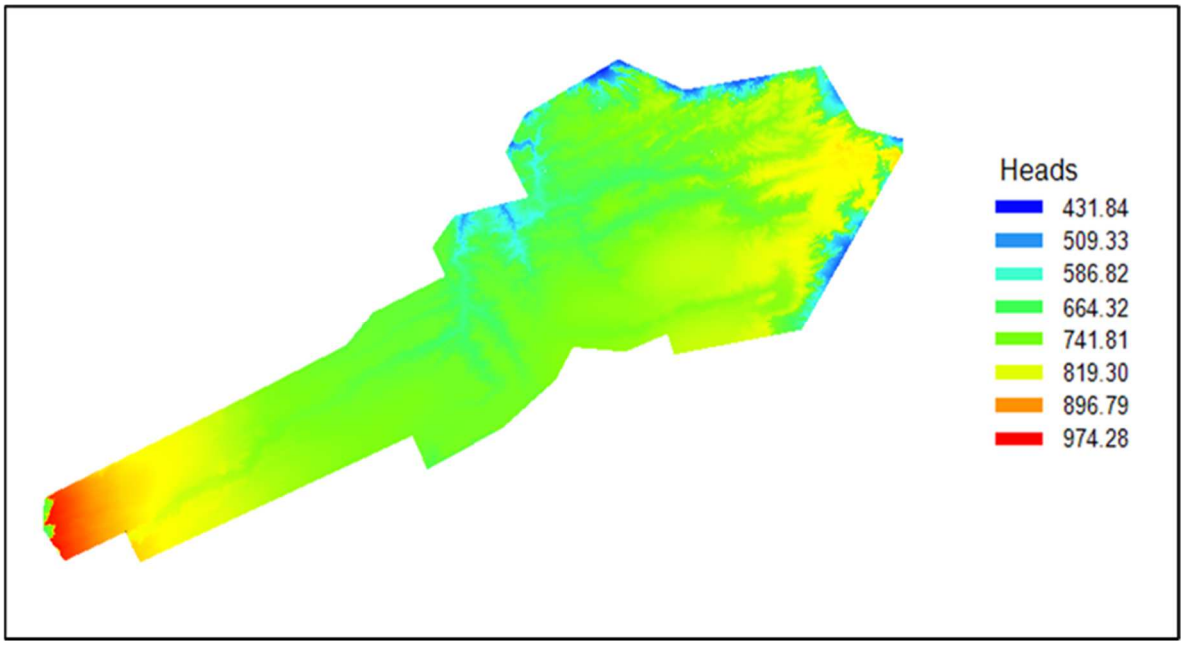

Figura 37 - Superfície potenciométrica obtida para o modelo numérico de fluxo da bacia do rio Grande após a calibração.

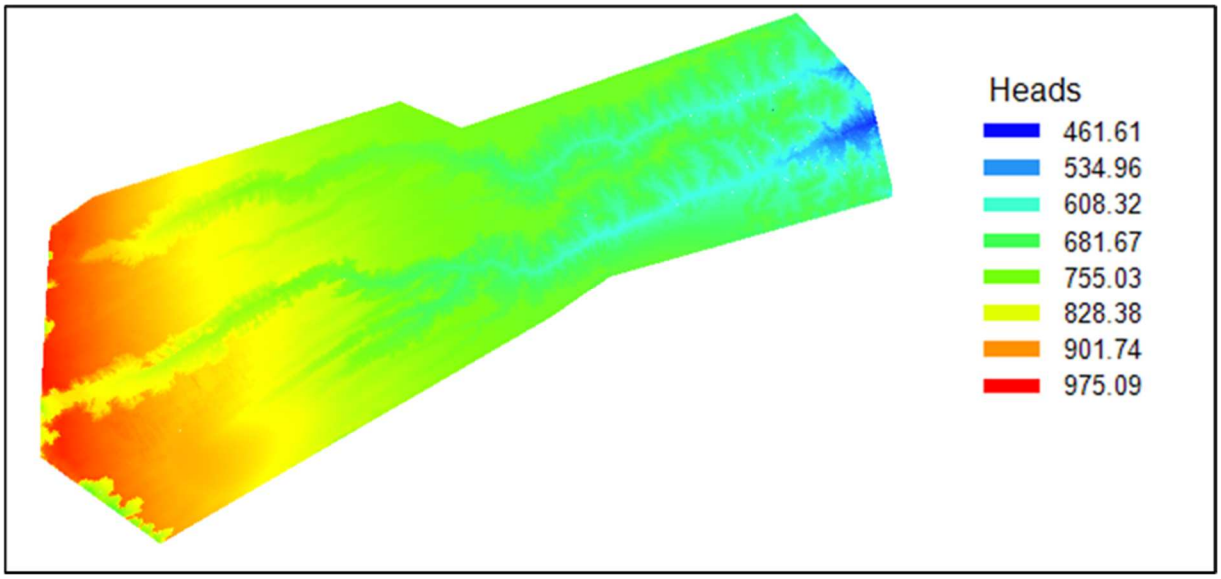

Figura 38 - Superfície potenciométrica obtida para o modelo numérico de fluxo da bacia do rio Corrente após a calibração.

O Quadro 21 mostra os valores de condutividade hidráulica calibrados no modelo com respeito aos valores obtidos dentro do modelo conceitual.

Quadro 21 - Comparativo entre os valores de condutividade hidráulica (Kx) do modelo conceitual com os valores calibrados no modelo numérico.

UNIDADES	Variação K (m/d)		K médio (m/d)	Calibrado
	Máximo	Mínimo		
Unidade 1	8,64	0,098	4,3	5,07
Unidade 2	8,64	0,01	4,3	4,96

No Quadro 22 ao Quadro 25 apresentam-se os balanços hídricos (balanço de massa) obtidos para os modelos regional e locais calibrados.

Quadro 22 - Balanço hídrico do modelo numérico de fluxo regional.

Parâmetro	Entrada (hm^3/d)	Saída (hm^3/d)
Carga constante	-	-
Poços	-	1,13
Drenos	-	42,45
GHB	14,05	21,45
Recarga	50,98	-
Total	**65,04**	**65,04**

Quadro 23 - Balanço hídrico do modelo numérico de fluxo da bacia do rio Branco.

Parâmetro	Entrada (hm^3/d)	Saída (hm^3/d)
Carga constante	1,64	2,63
Poços	-	0,16
Drenos	-	3,15
GHB	3,69	5,55
Recarga	6,18	-
Total	11,50	11,50

Quadro 24 - Balanço hídrico do modelo numérico de fluxo da bacia do rio Grande.

Parâmetro	Entrada (hm^3/d)	Saída (hm^3/d)
Carga constante	2,27	2,75
Poços	-	0,27
Drenos	-	9,40
GHB	5,54	2,96
Recarga	7,59	-
Total	15,39	15,39

Quadro 25 - Balanço hídrico do modelo numérico de fluxo da bacia do rio Corrente.

Parâmetro	Entrada (hm^3/d)	Saída (hm^3/d)
Carga constante	0,88	0,89
Poços	-	0,19
Drenos	-	6,13
GHB	1,27	1,04
Recarga	6,11	-
Total	8,25	8,25

Da análise dos dados do Quadro 22 ao Quadro 25 verifica-se a distribuição relativa das vazões de entrada e saída do modelo nas várias condições de contorno, assim como o erro resultante, que é de aproximadamente 3%, bastante aceitável.

Do Quadro 26 ao Quadro 29 apresenta-se uma síntese dos parâmetros finais dos modelos calibrados, incluindo um resumo das suas características construtivas.

Quadro 26 - Parâmetros finais do modelo de fluxo regional calibrado.

Componente do Modelo	Descrição
Geometria	
Área do modelo	Área total de 90.957,9 km^2.
Discretização	422.784 células, 6 camadas numéricas
Condutividade hidráulica (m/d)	
Unidade Hidroestratigráfica I	Kx = Ky = 2Kz = 5.07 m/d
Unidade Hidroestratigráfica II	Kx = Ky = 2Kz = 4.96 m/d
Condições de Contorno	
Recarga	Recarga máxima – 346 mm/ano Recarga mínima – 148,51 mm/ano Recarga média – 204,73 mm/ano
Drenos	Drenagens e nascentes
GHB	Fluxo de entrada/saída do aquífero
Poços	Poços de bombeamento

Quadro 27 - Parâmetros finais do modelo de fluxo da bacia do rio Branco calibrado.

Componente do Modelo	Descrição
Geometria	
Área do modelo	Área total de 10.338,6 km^2.
Discretização	508.637 células, 6 camadas numéricas
Condutividade hidráulica (m/d)	
Unidade Hidroestratigráfica I	Kx = Ky = 2Kz = 4,26 m/d
Unidade Hidroestratigráfica II	Kx = Ky = 2Kz = 5,50 m/d
Condições de Contorno	
Recarga	Recarga máxima – 346 mm/ano Recarga mínima – 175,71 mm/ano Recarga média – 219,28 mm/ano
Drenos	Drenagens e nascentes
GHB	Fluxo de entrada/saída do aquífero
Poços	Poços de bombeamento
Carga constante	Resultados do modelo regional

Quadro 28 - Parâmetros finais do modelo de fluxo da bacia do rio Grande calibrado.

Componente do Modelo	Descrição
Geometria	
Área do modelo	Área total de 14.959,2 km^2.
Discretização	524.973 células, 6 camadas numéricas
Condutividade hidráulica (m/d)	
Unidade Hidroestratigráfica I	Kx = Ky = 2Kz = 5,26 m/d
Unidade Hidroestratigráfica II	Kx = Ky = 2Kz = 4,21 m/d
Condições de Contorno	
Recarga	Recarga máxima – 156,65 mm/ano Recarga mínima – 1,26 mm/ano Recarga média – 47,98 mm/ano
Drenos	Drenagens e nascentes
GHB	Fluxo de entrada/saída do aquífero
Poços	Poços de bombeamento
Carga constante	Resultados do modelo regional

Quadro 29 - Parâmetros finais do modelo de fluxo da bacia do rio Corrente calibrado.

Componente do Modelo	Descrição
Geometria	
Área do modelo	Área total de 10.820,2 km^2.
Discretização	502.141 células, 6 camadas numéricas
Condutividade hidráulica (m/d)	
Unidade Hidroestratigráfica I	Kx = Ky = 2Kz = 5,36 m/d
Unidade Hidroestratigráfica II	Kx = Ky = 2Kz = 3,74 m/d
Condições de Contorno	
Recarga	Recarga máxima – 251,24 mm/ano Recarga mínima – 175,31 mm/ano Recarga média – 207,38 mm/ano
Drenos	Drenagens e nascentes
GHB	Fluxo de entrada/saída do aquífero
Poços	Poços de bombeamento
Carga constante	Resultados do modelo regional

4.4.3.2 Simulação dos Cenários de Bombeamento

4.4.3.2.1 Bacia do Rio Grande

Região central

Pode-se observar, no Quadro 30 e na Figura 39, os resultados das simulações para a região central da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

Quadro 30 - Resultados das simulações dos cenários para a região central da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

	Especificação do cenário	Rebaixamento na região central	Raio de rebaixamento
Cenário 1	2500 m de distanciamento; 9000 m³/dia	> 2m	≈8 km
Cenário 2	1500 m de distanciamento; 9000 m³/dia	> 8m	≈ 9,5 km
Cenário 3	1500 m de distanciamento; 5400 m³/dia	> 4m	≈7,3 km

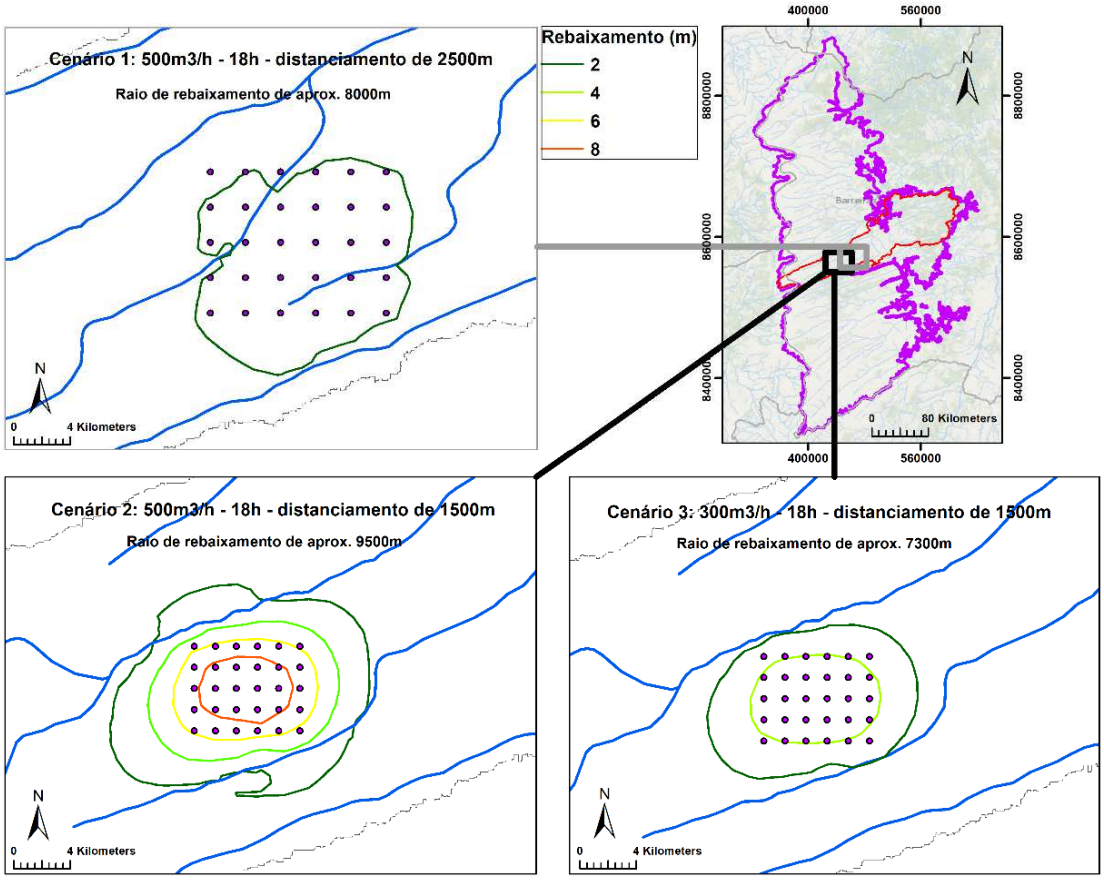

Figura 39 - Resultado das simulações para os cenários 1 e 2 na região central da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

Região Leste (São Desidério)

No Quadro 31, na Figura 40 e Figura 41 pode-se ver os resultados das simulações para a região leste da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

Quadro 31 - Resultados das simulações dos cenários para a região leste da sub-bacia dos rios Grande e São Desidério.

	Especificação do cenário	Rebaixamento na região central	Raio de rebaixamento
Cenário 1	2500 m de distanciamento; 5400 m³/dia	> 12m	≈ 13,4 km
Cenário 2	1500 m de distanciamento; 5400 m³/dia	> 14m	≈ 13,2 km
Cenário 3	2500 m de distanciamento; 3600 m³/dia	> 8m	≈ 11,5 km
Cenário 4	1500 m de distanciamento; 3600 m³/dia	> 10 m	≈ 11,4km

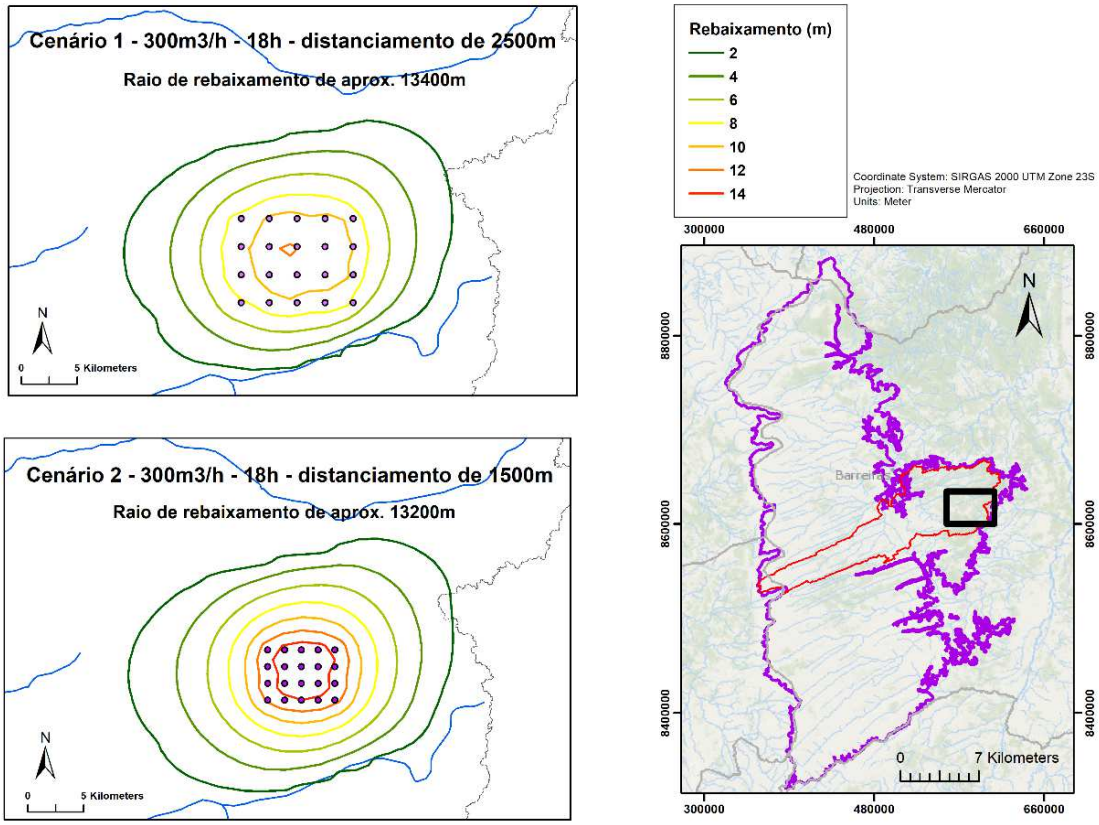

Figura 40 - Resultado das simulações para os cenários 1 e 2 do rio Grande na região próxima à fazenda Campo Grande.

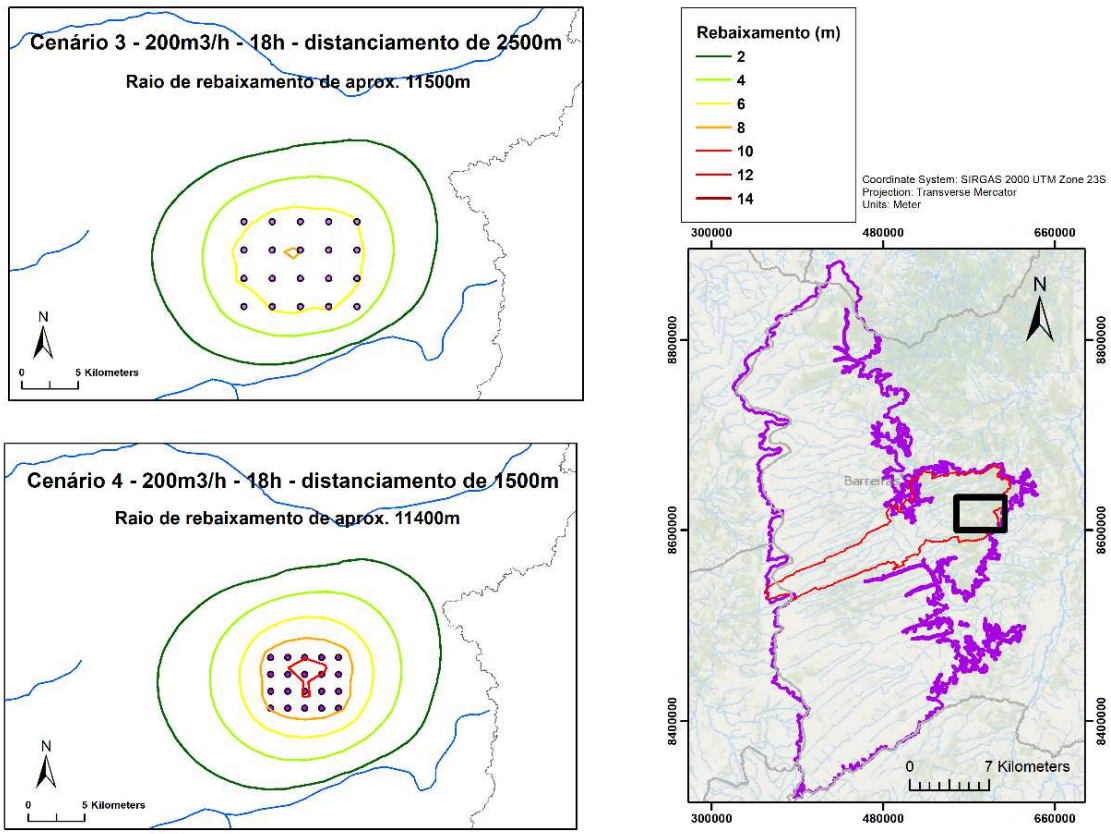

Figura 41 - Resultado das simulações para os cenários 3 e 4 do rio Grande na região próxima à fazenda Campo Grande.

4.4.3.2.2 Rio de Ondas

Nas simulações de bombeamento realizaram-se testes na bacia do rio de Ondas, devido ao fato desta ser uma bacia com intensa explotação e perspectivas de desequilíbrio em tempos futuros. Assim, embora não seja parte das modelagens numéricas hidrogeológicas apresentadas no item anterior, esta importante bacia foi contemplada com um modelo numérico, realizado especificamente para avaliar a questão da distância entre poços nessa bacia.

Cenário 1

No cenário 1 (Figura 42), as condições impostas para a rede de poços hipotéticos foram de 2500 m de distância entre poços e vazão igual a 500 m^3/h bombeando 18 horas por dia. Com isso, o resultado encontrado foi de um rebaixamento de 3,5 metros na porção central com um raio de 3 km e um rebaixamento de até 2,5 m ao redor desses, de raio aproximado a 16 km.

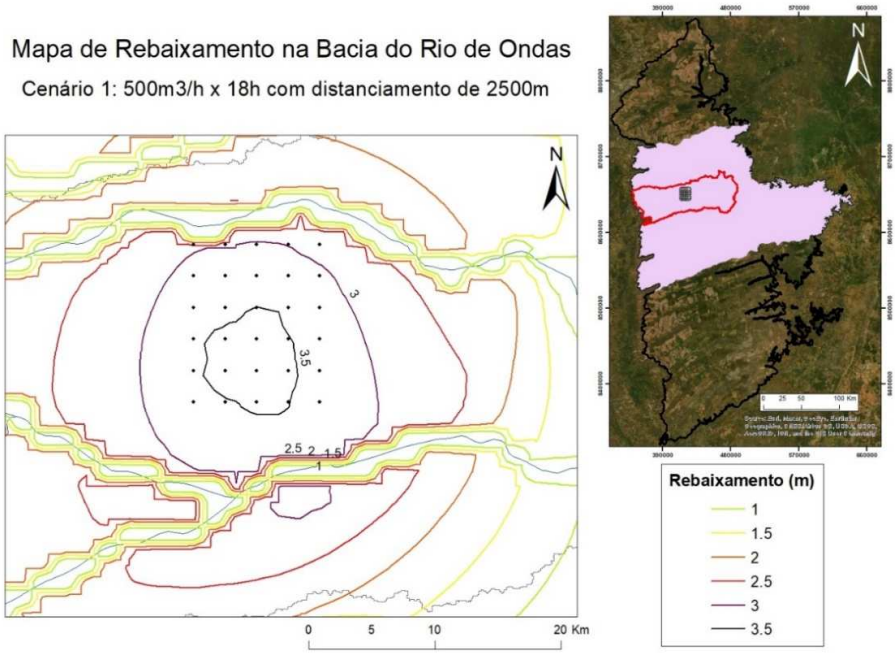

Figura 42 - Resultado do rebaixamento no cenário 1 da bacia do rio de Ondas.

Cenário 2

No cenário 2 (Figura 43), as condições impostas para a rede de poços hipotéticos foram de 2000 m de distância entre poços e vazão igual a 300 m^3/h bombeando 18 horas por dia. Com isso, o resultado encontrado foi de um rebaixamento de 2 ao redor dessa rede de poços com um raio de 6,4 km, além de um rebaixamento de 1,5 m, em um raio maior aproximado a 16 km.

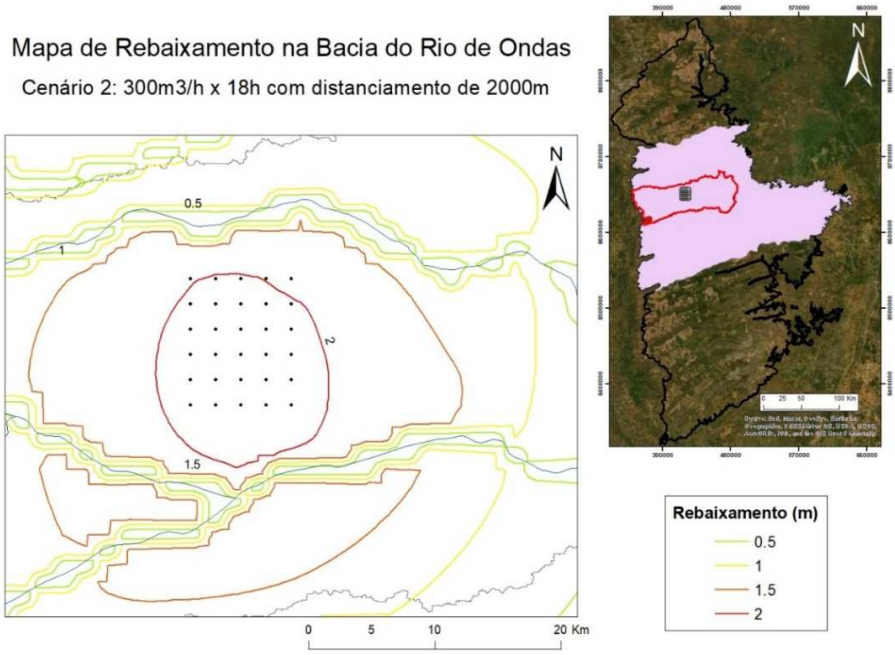

Figura 43 - Resultado do rebaixamento no cenário 2 da bacia do rio de Ondas.

Cenário 3a

No cenário 3a (Figura 44), as condições impostas para a rede de poços hipotéticos foram de 1500 m de distância entre poços com vazão igual a 500 m^3/h bombeando 18 horas por dia. Com isso, o resultado encontrado foi de um rebaixamento de 4 metros ao redor dessa rede de poços com um raio de 3,5 km, além de um rebaixamento de até 2,5 m, em um raio maior aproximado a 17,5 km.

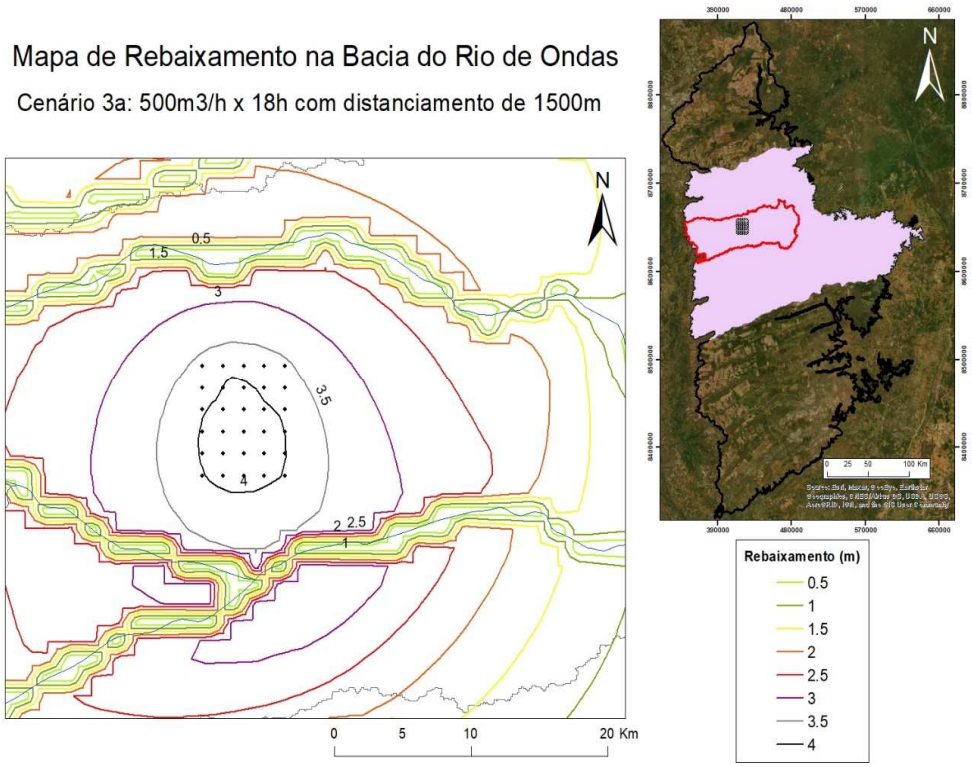

Figura 44 - Resultado do rebaixamento no cenário 3a da bacia do rio de Ondas.

Cenário 3b

No cenário 3b (Figura 45), as condições impostas para a rede de poços hipotéticos foram de 1500 m de distância entre poços com vazão igual a 300 m^3/h bombeando 18 horas por dia. Com isso, o resultado encontrado foi de um rebaixamento de 2,5 metros ao redor dessa rede de poços com um raio de 2 km e um rebaixamento de até 1,5 m ao redor desses, em um raio maior aproximado a 17,5 km.

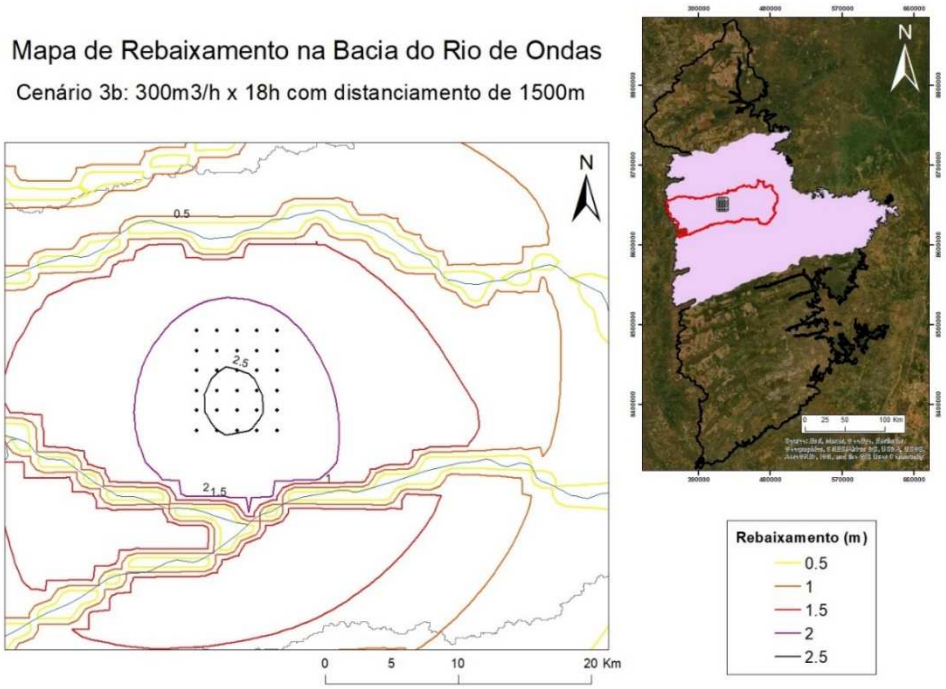

Figura 45 - Resultado do rebaixamento no cenário 3b na bacia do rio de Ondas.

Cenário 3c

No cenário 3c (Figura 46), as condições impostas para a rede de poços hipotéticos foram de 1500 m de distância entre poços com vazão igual a 100 m^3/h bombeando 18 horas por dia. Com isso, o resultado encontrado foi de um rebaixamento de 0,8 metros ao redor dessa rede de poços com um raio de 3 km e um rebaixamento de até 0,4 m ao redor desses, em um raio maior aproximado a 22 km.

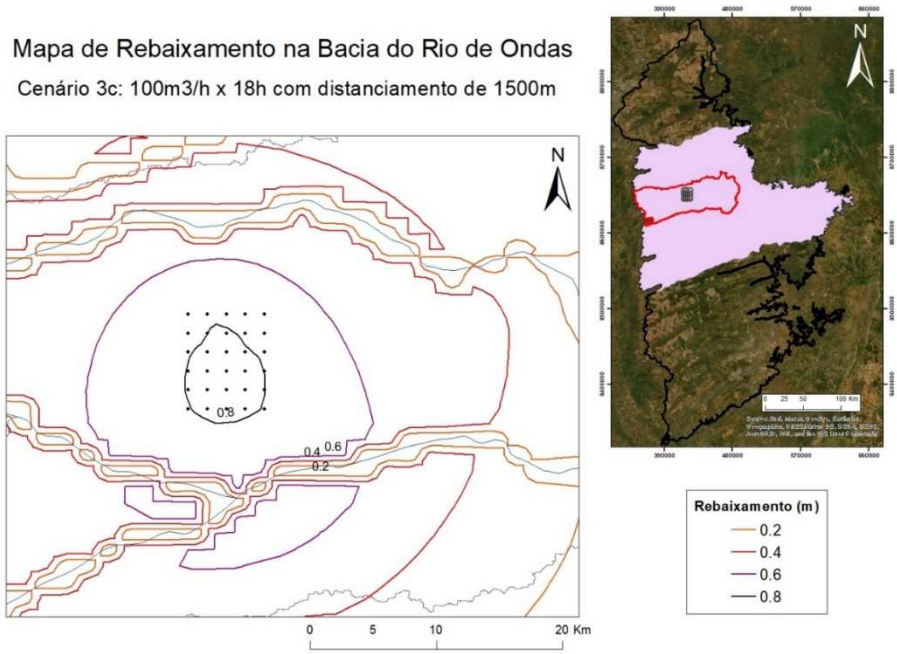

Figura 46 - Resultado do rebaixamento no cenário 3c na bacia do rio de Ondas.

4.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

O uso sustentável dos recursos hídricos é um dos principais desafios para a agricultura em meio a uma crescente demanda por alimentos e a escassez de recursos hídricos em muitas regiões do Brasil e do mundo. Embora a agricultura em nível global tenha se tornado mais eficiente nas últimas décadas, a competição por recursos naturais se intensificou devido aos padrões de consumo impulsionados principalmente pelo crescimento populacional, mudanças nos padrões alimentares, desenvolvimento industrial, urbanização, exigências de *compliance* ambiental e mudanças climáticas (FAO, 2017).

Com o objetivo de minimizar os riscos de desabastecimento e evitar futuros conflitos relacionados ao uso da água, mecanismos de gerenciamento foram criados visando estimar de forma segura as reservas e as disponibilidades hídricas. Esses valores de reserva são estimados com base na recarga potencial direta (RPD) que corresponde ao volume da precipitação anual que chega efetivamente aos aquíferos e se renova anualmente, conhecida também como reserva renovável (ANA, 2013). Neste trabalho os métodos de estimativa da recarga e seus resultados podem ser observados nos itens 2.2 e 3.3, respectivamente.

Para calcular o volume que poderá ser explotado de forma sustentável, ou seja, a reserva potencial explotável (RPE), a ANA (2013) considerou a aplicação de um índice percentual da RPD, conhecido como coeficiente de sustentabilidade (CS) (Equação 9). *O CS considera, preliminarmente, as variações das condições hidrogeológicas e climáticas do Brasil, bem como a disponibilidade hídrica superficial, de forma a assegurar a manutenção do fluxo de base, levando em conta que uma parcela desse montante, representada pelas vazões mínimas* $Q_{7,10}$ *e* Q_{90}*, já está comprometida nas outorgas de água superficial, de modo que esse coeficiente seja limitado até o máximo de 0,4, exceto nos terrenos do Fraturado Semiárido onde os rios não são perenes* (ANA, 2013).

Em que:

$$RPE = RPD * CS \qquad \text{Equação (9)}$$

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em 2019, realizou estudo da disponibilidade hídrica subterrânea do Norte de Minas Gerais, em que apresenta uma avaliação quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos da região. Para cumprimento da proposta, foram aplicados diferentes métodos para cálculo da reserva permanente e da recarga aos aquíferos locais. Em sequência foram calculadas a potencialidade hídrica subterrânea ou a RPD; e a Reserva Potencial Explotável (RPE). O CS foi calculado pela razão entre a média harmônica dos valores da RPE calculada com diferentes métodos e a RPD.

O estudo da ANA (2013) indica para o Sistema Aquífero Urucuia um CS de 20%, devido à sua elevada transmissividade e às vazões de base, que representam de 50 a 90% da vazão dos rios durante o período de estiagem. Com base nos métodos supracitados foi estimada a recarga para o Sistema Aquífero Urucuia, e após aplicação no modelo numérico esses valores foram calibrados para obtenção do melhor ajuste as observações de campo. Deste modo, o valor da Reserva Potencial Explotável calculada para o SAU corresponde à 3,72 km^3/ano, estimada conforme CS de 0,2 e o RPD calculado no modelo é de 18,6 km^3/ano. A RPE considera o volume total disponível em determinado aquífero, sem descontar os volumes explotados atualmente. Ou seja, para se conhecer a disponibilidade real de água subterrânea, os quantitativos em extração devem ser abatidos da RPE.

$$RPE = 0,2 \text{ x } 18,6 \text{ km}^3\text{/ano}$$

$$RPE = 3,72 \text{ km}^3\text{/ano}$$

4.6 OUTRAS ATIVIDADES

Dentro do escopo do projeto uma série de atividades educativas, tais como webinars e cursos, que já foram ou ainda serão realizadas. Dentre estas atividades destacam-se:

- Webinars:
  - ✓ Resultado Geral do Projeto – 26/10/2021;
  - ✓ Monitoramento: importância, metodologia e resultados – 05/10/2021;
  - ✓ Recarga: conceito, uso, reservas permanentes e explotável, resultados – 28/10/2021;
  - ✓ Qualidade da Água: importância, situação atual e futura – 13/10/2021;
  - ✓ Urucuia: águas subterrâneas (já realizado).
- Treinamentos:
  - ✓ Treinamento Modflow Classic. Nível 1 (Introdução): 2019;
  - ✓ Treinamento Modflow Flex. Nível 1 (Introdução): 2021;
  - ✓ Treinamento Modflow Flex. Nível 2 (Aprofundamento): 2021.

4.7 CONCLUSÕES

A região oeste do Estado da Bahia é uma das áreas de expansão mais ativa da agricultura irrigada no Brasil. Este estudo teve como objetivo apresentar uma atualização do modelo conceitual, devido ao aporte de novos dados obtidos por meio de trabalho de campo com a realização de novos testes de bombeamento; de um melhor detalhamento das condições de recarga por meio de metodologias modernas e precisas, como o modelo *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) e pelo método de Variação do Nível d'Água (VNA ou WTF); e por meio de um maior detalhamento vertical do modelo numérico SAU, com base na subdivisão do mesmo em seis camadas. Adicionalmente, além de diversas melhorias adicionais, empregou-se uma versão atualizada e com mais recursos do Modflow (MODFLOW-USG), possibilitando um maior refinamento próximo a condições de contorno de interesse, por exemplo rios e poços. Isso permitiu um maior detalhamento da interação água superficial - água subterrânea, proporcionando uma melhor representatividade das condições reais de campo

Os valores de recarga estimados pela modelagem SWAT são muito semelhantes aos estimados pelo método WTF e estão em consonância com dados de outros trabalhos encontrados na literatura. Portanto, pode-se afirmar que taxas de recarga anuais precisas podem ser encontradas para SAU usando ambos os métodos usados neste estudo e nossos resultados validam os percentuais médios de recarga na região. Com base no volume de recarga do estimado para o SAU, foi calculado o valor da Reserva Potencial Explotável, que corresponde à 3,72 km^3/ano ou 118 m^3/s.

O modelo hidrogeológico numérico foi atualizado com aplicação da malha desestruturada tipo Voronoi, e permitiu um melhor detalhamento dos modelos. Foram simulados os fluxos em quatro modelos, um Regional, abrangendo todo o SAU em território baiano, e em três sub-bacias para as cabeceiras do rio Grande e São Desidério; rio Branco e cabeceira do rio Corrente e Arrojado. Adicionalmente, foram realizadas simulações numéricas para testar a importante questão da distância entre poços, problema recorrente na região Oeste da Bahia em função de demandas para a implantação da gestão localizada da explotação subterrânea. Essas simulações incluíram, além das outras bacias estudadas, poços na bacia do rio de Ondas, afluente do Alto Grande.

Esses modelos permitirão, de forma auxiliar, melhorias no modo de gestão do Aquífero uma vez que será possível a realizar simulações dos poços previstos nas solicitações de outorga e verificações das alterações causadas por estes ao modelo de fluxo local.

4.8 BIBLIOGRAFIA

Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology, 524, 733–752.

Abbaspour, K. C. 2015. SWAT-CUP: SWAT calibration and uncertainty programs: A User Manual. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Switzerland.100p. 2015.

Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology, 333(2-4), 413–430.

Abbaspour, K. C., Johnson, C. A., & van Genuchten, M. T. 2004. Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. Vadose Zone Journal, 3(4), 1340.

Agência Nacional das Águas – ANA. 2005. Rede Hidrometeorológica Nacional. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Access in June 13th 2020.

Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico 2002. Avaiable at: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>. Access in June 2th 2020.

Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; Srinivasan, R.; Williams, J. R.; Haney, E. B.; Neitsch. S. L. 2012. Soil & Water Assessment Tool: Input/Output Documentation version 2012. Texas Water Resources Institute. 650p. 2012.

Baldissera, G. C. 2005. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, MT. 132p. Dissertação (Mestrado em Física do Meio Ambiente) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

Campos, J. C. V.; Briz, E. M.; Luz, J. A. G. 2010. Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia – Fazenda Bombarda. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XVI, São Luís (MA), Anais, 2010, p.1-17.

Carvalho, V. E. C. C., Rezende, K. S., Paes, B. S. T., Betim, L. S., Marques, E. A. G. 2014. Estimativa da Recarga em uma Sub-bacia Hidrográfica Rural Através do Método da Variação do Nível D'Água (VNA). RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, 271-280. 2014.

Chung, S. W.; Gassman, P. W.; Kanwar, R. Gu, & R. S. 2002. Evaluation of EPIC for Assessing Tile Flow and Nitrogen Losses for Alternative Agricultural Management Systems. Transactions of the ASAE, 45(4).

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2019. Projeto Águas do Norte de Minas – PANM: Estudo da Disponibilidade Hídrica Subterrânea do Norte de Minas Gerais. Cândido, M. O.; Beato, D. A. C; Fiume, B.; Scudino, P. C. B.; Carneiro, F. A.; Nascimento, F. M. F.; Coutinho, M. M.; Almeida, C.S.C. de; Socorro, A. S.; Santana, M.S.; Ribeiro, R. S.; Cordeiro, B.H. O. L. Belo Horizonte: CPRM, 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2020. GEOINFO – Infraestrutura de dados espaciais da EMBRAPA. Avaialable at:<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/?limit=100&offset=0> Access in May 20th 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization, United Nations. 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.

Fernandes, J. G. 2015. Estimativa de vazão e produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, utilizando o modelo SWAT / Josimar Gurgel Fernandes. – Recife: O autor, 2015. 185p

Galofré, A. 1966. Cálculo de la transmisividad a partir de descensos específicos. Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de las Cuencas de los Rios Besós y Bajo Llobregat. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona. p. 7.69-7.73. (In: CUSTÓDIO e LLAMAS).

Gaspar, M. T. P. 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. 2006. 158 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

Gaspar M.T.P. Campos J.E.G. 2007. O Sistema Aquífero Urucuia. Revista Brasileira de Geociências, 37(4):216-226, 2007.

Gonçalves, R. D., Engelbrecht, B. Z., Chang, H. K. 2018. Evolução da contribuição do Sistema Aquífero Urucuia para o Rio São Francisco, Brasil. Águas Subterrâneas 32 (1), 10, 2018.

Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. 1999. Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models:Comparison with Multilevel Expert Calibration. Journal of Hydrologic Engineering,4(2), 135–143.

Healy, R. W. 2010. Estimating Groundwater Recharge. Cambridge University Press, 385 p.

Hirata, R. A., Varnier, C. 1998. Água Subterrânea e os agronegócios. X Cong. Bras. Águas Subterrâneas.

Hirata, R. A., Suhogusoff, A. V., Marcellini, S. S., Villar, P. C., Marcellini, L. 2019. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. CEPAS-USP, 66 p. Disponível em: https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf

INGÁ – Instituto de Gestão das Águas 2010. Instrução Normativa Nº 15/2010 - Dispõe sobre a emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/instrucoes-normativas/instru-o-normativa-ing-n-15> Acesso em 06 de maio de 2021

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008. Topodata – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Access in May10th 2020.

Jacomine, P. K. T.; Cavalcanti, A. C.; Ribeiro, M. R.; Montenegro, J. O.; Burgos, N.; Mélo Filho, H. F. R. de; Formiga, R. A. 1976. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do Rio São Francisco Estado da Bahia: Embrapa Solos, 404p.

Labrecque, G., Chesnaux, R. & Boucher, MA. 2020. Water-table fluctuation method for assessing aquifer recharge: application to Canadian aquifers and comparison with other methods. Hydrogeol J 28, 521–533, 2020. https://doi.org/10.1007/s10040-019-02073-1

Mace, R. E. 1997. Determination of Transmissivity from Specific Capacity Tests in a Karst Aquifer, Ground Water, 35(5): 738–742.

MapBiomas 2019. Disponível em:<https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Access in May 28th 2020.

Mantovani, E. C. et al. 2019. Estudo do potencial hídrico da região oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha. Relatório técnico final. Viçosa: AIBA, 2019. Disponível em: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Relatório-final-Estudo-dos-Recursos-Hidricos-na-Região-Oeste-da-Bahia-v2.pdf>.

Marques, E. A. G.; Silva Junior, G. C.; Eger, G. Z. S.; Ilambwetsi, A. M.; Pousa, R.; Generoso, T. N.; Oliveira, J.; Júnior, J. N. 2020. Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande watershed, Northeastern Brazil. J. South. Am. Earth Sci. 2020, 103, 102723.

Monteith, J. L., 1965. Evaporation and environment. In: Fogg, G. F. (Ed.), The State and Movement of Water in Living Organisms. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 205–234.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885-900.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), 282–290.

NCAR – National Center for Atmospheric Research. 2020. Disponível em: <https://rda.ucar.edu/pub/cfsr.html>. Access in June 3th 2020.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry J. R., Williams J. R. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute.

OBahia – Inteligência Artificial e Hídrica para o Oeste da Bahia. 2019. Disponível em: <http://obahia.dea.ufv.br/layers/?limit=20&offset=0>. Access in May 25th 2020.

Panday, S., Langevin, C.D., Niswonger, R.G., Ibaraki, M., and Hughes, J.D., 2017, MODFLOW-USG version 1.4.00: An unstructured grid version of MODFLOW for simulating groundwater flow and tightly coupled processes using a control volume finite-difference formulation: U.S. Geological Survey Software Release, 27 October 2017, https://dx.doi.org/10.5066/F7R20ZFJ

Pompeu J.; Rodrigues Z. R. C. 2002. Estudo Hidrogeológico da Bacia do Rio das Fêmeas. In: Simpósio de Água e Desenvolvimento Sustentável no Oeste Baiano, 1, 2002, Anais do Simpósio, CD-ROM.Santos, J. P. 2002. Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia. Relatório Final. ANA/GEF/PNUMA/OEA, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). Salvador- BA. 2002. 75p.

Schuster, H. D. M.; Silva, F. F.; Teixeira, S. L.; Batista, L. H. G.; Freitas, W. A. 2002. Estudos hidrogeológicos do aquífero Urucuia no Oeste baiano para obtenção de parâmetros nas outorgas de mananciais subterrâneos. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Florianópolis-SC, 2002, Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15 pp.

Schuster, H. D. M. 2003. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com Vistas à Definição de Parâmetros para Outorga de Mananciais Subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio de Cachorro Oeste do Estado da Bahia. Relatório Final. Campina Grande-PB: 2003. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 113 pp.

Simas, J. R. 1988. Política Nacional de Irrigação - Perspectivas para o Ano 2000 - Demandas Energéticas e Hídricas. In: Seminário Internacional Modernização Agrícola e Emprego: O Caso do Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil. Anais.....Brasília, Programa Nacional de Irrigação (PRONI), 1989: 69-85.

Teramoto, E. H., Chang, H. K. 2018. Métodos WTF e simulação numérica de fluxo para estimativa de recarga - exemplo Aquífero Rio Claro em Paulínia/SP. Revista Água Subterrâneas, v. 32, n. 2, 173-180. 2018.

Troian, G. C., Reginato, P. A. R., Senhorinho, E. M., Marcuzzo, F. F. N., Kirchheim, R. E., Kuhn, I. A. 2017. Estimativa de Recarga pelo Método Water Table Fluctuation (WTF) na Porção Norte do Aquífero Costeiro do Estado do Rio Grande do Sul. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017.

USDA ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory; Texas A&M AgriLife Research. 2018. SWAT - Soil and Water Assessment Tool. USDA Agricultural Research Service; Texas A&M AgriLife Research. https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool. Accessed 2021-08-09.

Varni, M., Comas, R., Weinzettel, P., Dietrich, S. 2013. Application of the water table fluctuation method to characterize groundwater recharge in the Pampa plain, Argentina. Hydrological Sciences Journal, 58 (7), 1445-1455. 2013.

Wahnfried, I., Hirata, R. 2005. Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em Uma Planíce Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídrico, v. 10, n. 2, 15-25. 2005.

WWAP 2012. United Nations World Water Development Report 4: managing water under uncertainty and risk. Publicado em 2012 pelo United Nations World Water Assessment Programme Paris: UNESCO Publishing/World Water Assessment Programme (WWAP); London: Earthscan, 2012.

Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K. C., Xia, J., & Yang, H. 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. Journal of Hydrology, 358(1-2), 1–23, 2008.

Parte 5
Governança

Equipe: Aziz Galvão da Silva Junior (Coordenador)
Everardo Chartuni Mantovani (Coordenador)
Igor Boninsenha
Kelton Gomes dos Santos
Maria Clara Moreira Fort
Taiane Michele Costa Paiva.

SUMÁRIO

5.1. Resumo Executivo 161

5.2. Modelos de Governança 162
5.2.1 Avaliação do Sistema de Governança 163
5.2.2 Rede de Relacionamento dos Participantes 173
5.2.3 Envolvimento Dos Participantes 176
5.2.4 Discussão e Proposição de um Modelo de Governança e Monitoramento 196
5.2.5 Análise Econômica 205
5.2.6 Articulação e Envolvimento para Implantação de um Sistema de Monitoramento 208
5.2.7 Capacitação em Recursos Humanos 210

ANEXO 1. Notas contas econômicas e ambieitas da água 214

ANEXO 2: Informações para subsidiar convocação de audiência pública na Comissão de Ciência e Tecnologia da Câmara dos Deputados sob a presidência do deputado Félix Mendonça 217

ANEXO 3: Comunicação ao INEMA 223

5.1 Resumo Executivo

As ações na área de governança tiveram como objetivo discutir modelos de gestão e monitoramento com base na criação de canais de comunicação e confiança entre usuários de água no Oeste da Bahia.

5.1.1 Um intenso trabalho de envolvimento de usuários permitiu criar canais de comunicação eficientes para divulgar os resultados do projeto, gerando confiança em relação ao projeto e também entre os próprios participantes do sistema de gestão de recursos hídricos no Oeste da Bahia. As ações e os resultados foram compartilhados com o i) poder executivo, ii) formuladores de políticas públicas e iii) órgãos do judiciário. Cerca de 5 reuniões foram realizadas com o Ministério Público, nas quais os objetivos do projeto e os resultados do estudo foram apresentadas. Ações integradas com os Comitês de Bacia Hidrográficas dos Rios Grande, Corrente e São Francisco foram realizadas e criou-se um produtivo canal de comunicação com especialistas do Consórcio responsável pela elaboração do Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos D'água da RPGA do Rio Grande - BA.

5.1.2 Com informações fundamentas, canal de comunicação transparente e confiança dos participantes, foi possível discutir e propor ações de governança e monitoramento com base em resultados técnicos disponibilizados pelo projeto (apresentados nas seções correspondentes). As principais proposições foram:

5.1.2.1 Metodologia mais atual com base em resultados de modelos científicos para a definição da distância entre poços.

5.1.2.2 Atualização e aprimoramento de procedimentos administrativos e critérios técnicos para a exploração de água subterrânea, considerando ajustes no tempo de bombeamento para diminuir custos de irrigação sem afetar a disponibilidade hídrica.

5.1.2.3 Alterações no processo de outorga com base em informações sobre a disponibilidade sazonal, permitindo a otimização do uso dos recursos hídricos e viabilizando a expansão sustentável da irrigação.

5.1.2.4 Desvinculação do volume ou vazão da água outorgada com a área utilizada para irrigação e produção, o que estimulará o uso eficiente de água através da adoção de tecnologias adequdadas.

5.1.3 Um programa de capacitação com base em metodologias presenciais e de ensino a distância foi disponibilizado. Os cursos permitiram a capacitação de especialistas, técnicos, acadêmicos e produtores rurais e a criação de um repositório para consulta e utilização futuras nas áreas de irrigação e recursos hídricos. Além de cursos, uma série de webinars apresentou, em linguagem acessível, os resultados dos artigos científicos gerados pelo projeto. As ações de capacitação estão integradas direta ou indiretamente com ações de governança para aumento da transparência dos resultados, geração de confiança e viabilização da implementação das propostas. Como exemplo, três cursos sobre software Modflow foram oferecidos para técnicos do INEMA/SEMA, as quais foram capacitados a aplicar a metodologia proposta de definição da distância entre poços utilizando o sistema computacional de referência internacional na área de hidrogeologia.

5.1.4 Com o objetivo de propor um sistema de monitoramento, seminários e reuniões para discutir tecnologias e sistemas foram realizadas, envolvendo técnicos de organizações e empresas, além de especialistas brasileiros e americanos. A apresentação e discussão do

modelo de monitoramento para os produtores rurais gerou a proposta e aprovação de um projeto específico para a estruturação, em parceria com o Instituto Water for Food da Universidade do Nebraska de um sistema modelo de monitoramento para uma área identificada como críticas pelo projeto.

5.1.5. No desenvolvimento do projeto foi considerado o potencial da irrigação no aumento da produtividade, diminuição de risco de produção, aumento da eficiência dos recursos produtivos e rentabilidade para todas as escalas de produção. Para a agricultura familiar, além de palestras e capacitações, o contato com empresa de irrigação localizada viabilizou a implantação de unidades demonstrativas na Escola Modelo da AIBA e no Campus Barra da Universidade Federal do Oeste da Bahia. Além destes resultados diretos do projeto, projetos para a agricultura familiar foram implementadas pela AIBA, os quais poderão se beneficiar as ações realizadas. Finalmente, foi elaborado um projeto de utilização compartilhada de pivô central para a agricultura familiar, o qual contou com o apoio de empresas, revendas, especialistas e extensionistas.

5.2 Modelos de Governança

A carência de informações, a falta de comunicação e de articulação entre os diferentes níveis e organismos que atuam na gestão dos recursos hídricos foram apontados como os principais obstáculos para a implementação de um sistema de governança mais efetivo no Brasil (OECD, 2015). Neste contexto, os objetivos relacionados ao tema governança buscaram obter, estruturar e criar canais de comunicação e de confiança entre os usuários e partes interessas do sistema de gestão hídrica no Oeste da Bahia. Considera-se que a alocação da água é uma questão econômica e política, regulamentada por um conjunto de leis formais e regras informais propostas, implementadas e controladas por diferentes grupos de interesse. Governança é, portanto, entendida como o conjunto de mecanismos e processos pelos quais o acesso, uso, controle, transferência e resolução de conflitos relacionadas a água são gerenciados. Essencialmente, um sistema de governança determina para quem, quando, como e qual tipo de água está disponível, bem como o direto uso e apropriação dos benefícios relacionados à água.

O trabalho disponibilizou informações técnicas e econômicas, integrados na plataforma OBahia. Os resultados para a discussão e proposição de modelos de gestão e monitoramento dos recursos hídricos tiveram como base informações atuais e estimativas futuras, levando-se em consideração o arcabouço institucional existente a nível federal, estadual e no âmbito de comitês de bacias hidrográficas.

É importante destacar que durante o período de desenvolvimento do estudo, ocorreram diversas atividades do **Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos D'água da RPGA do Rio Grande e Rio Corrente**, coordenado pelo Consórcio Hydros/Engeplus e contratado pelo O Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia (SEMA). Considerando a importância chave do plano de bacia no arcabouço legal do Sistema de Governança dos Recursos Hídricos no Brasil e as possibilidades de sinergia entre as ações, foram criados canais de comunicação entre todos os grupos participantes do estudo e os especialistas do consórcio, bem como realizadas diversas reuniões e atividades em conjunto, descritas a seguir. A participação da equipe do projeto em diversas reuniões de trabalho do plano em conjunto com os Comitês de Bacias Hidrográficas dos Rios Grande e Corrente foi

altamente produtiva e importante para as discussões para a proposição de modelos de governança e monitoramento.

O objetivo específico 2 do projeto foi ***"discutir e propor modelos de governança e monitoramento para a gestão sustentável e participativa dos recursos hídricos no oeste da Bahia, com base no fortalecimento da transparência e confiança entre usuários, gestores públicos e sociedade civil organizada".***

Para atingir os objetivos as ações foram divididas nas atividades descritas na figura 1, as quais estão interrelacionadas e utilizam e disponibilizam informações para os outros objetivos específicos do projeto.

Figura 1 - Objetivos Específicos

5.2.1 Avaliação do Sistema de Governança

A avaliação do sistema de governança teve como base o modelo proposto pela Economista Elinor Ostrom, Prêmio Nobel de Economia em 2009. Adicionalmente, para subsidiar e sistematizar as informações técnicas e econômicas, foi utilizado o modelo de Contas Econômicas Ambientais das Águas – SCEAA – Água, proposto pela FAO e utilizado pela Agência Nacional de Água e Saneamento (ANA) para análises agregadas dos dados brasileiros.

Estudos empíricos de avaliação de sistemas de governança aplicados ao Nebraska (Babbit, 2015 e Babbit, 2018), que utilizaram os conceitos propostos por Ostrom, foram adaptados à realidade brasileira e especificamente à região Oeste da Bahia. Foi desenvolvido e discutido um questionário com a equipe do projeto, especialistas da AIBA e também representantes do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Um pré-teste foi aplicado para

validar o relatório. As questões estão apresentadas em 25 frases afirmativas em um questionário elaborado no *google* formulários. Foi incluída uma questão para classificar os usuários em categorias e uma questão aberta solicitando comentários.

Pretendia-se aplicar os questionários em atividades presenciais realizadas pela AIBA e explorar comentários e sugestões formuladas presencialmente. Entretanto, em função da pandemia estas ações não puderam ser realizadas de forma presencial sendo incluídos nos relatórios online e contatos telefônicos ou reuniões virtuais, conforme descritas a seguir.

No questionário, foi considerada a seguinte escala:

- 2 = CONCORDO PLENAMENTE
- 1 = CONCORDO PARCIALMENTE
- 0 = NEUTRO
- -1 = DISCORDO PARCIALMENTE
- -2 = DISCORDO PLENAMENTE

As questões são apresentadas a seguir:

1) Sou capaz de INFLUENCIAR as leis e normas que regulam o uso de recursos hídricos!
2) As regras de uso de recursos hídricos são CLARAMENTE DEFINIDAS!
3) Há mecanismos eficientes para a RESOLUÇÃO DE CONFLITOS entre usuários de recursos hídricos!
4) A COBRANÇA pelo uso de águas é um mecanismo importante para a gestão de recursos hídricos!
5) Aqueles que descumprem leis e normas relacionadas aos recursos hídricos sofrem PENALIDADES ADEQUADAS!
6) Como usuário, recebo mesmo TRATAMENTO por parte dos gestores de recursos hídricos que os outros usuários!
7) As normas e leis que regulam o uso de recursos hídricos consideram as CARACTERÍSTICAS de minha região!
8) As INSTITUIÇÕES que participam da gestão de recursos hídricos são eficientes e capazes de adequar-se a mudanças
9) As ASSOCIAÇÕES que representam meus interesses têm realizado um bom trabalho para melhorar a gestão de recursos hídricos!
10) As instituições estaduais (SEMA, INEMA, SIHS) dispõem de recursos financeiros adequados!

11) As instituições abaixo dispõem de recursos financeiros adequados! [Federais (ANA, IBAMA, CPRM)
12) As instituições Regionais (Comitê de Bacia Hidrográfica) dispõem de recursos financeiros adequados!
13) As instituições Municipais (Secretaria de Meio Ambiente) dispõem de recursos financeiros adequados!
14) As instituições envolvidas na gestão de recursos hídricos estão integradas e trocam informações
15) Conheço as instituições Estaduais (SEMA, INEMA, SIHS) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
16) Conheço as instituições Federais (ANA, IBAMA, CPRM) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
17) Conheço as instituições Regionais (Comitê de Bacia Hidrográfica) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
18) Conheço as instituições Municipais (Secretaria de Meio Ambiente) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
19) Confio nas instituições envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos! [- Estaduais (SEMA, INEMA, SIHS)
20) Confio nas instituições Federais (ANA, IBAMA, CPRM) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
21) Confio nas instituições Regionais (Comitê de Bacia Hidrográfica) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
22) Confio nas instituições Municipais (Secretaria de Meio Ambiente) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!
23) As lideranças tem realizado um bom trabalho para melhorar a gestão de recursos hídricos!
24) As normas e leis que regulam o uso de recursos hídricos consideram as características de minha região!
25) Existe um sistema efetivo de monitoramento de recursos hídricos!

A questão aberta incluída no questionário é a seguinte.

Por favor, faça comentários e observações sobre o sistema de governança do Oeste da Bahia:

Uma questão relacionada a rede de influência (rede social) foi incluída no questionário e será discutido no objetivo 2.2

O questionário foi respondido por 32 usuários classificados respectivamente em:

- Agricultura de Sequeiro
- Agricultura Irrigada
- Consumidor Urbano
- Indústria, Comércio ou Serviço
- Pesca Artesanal

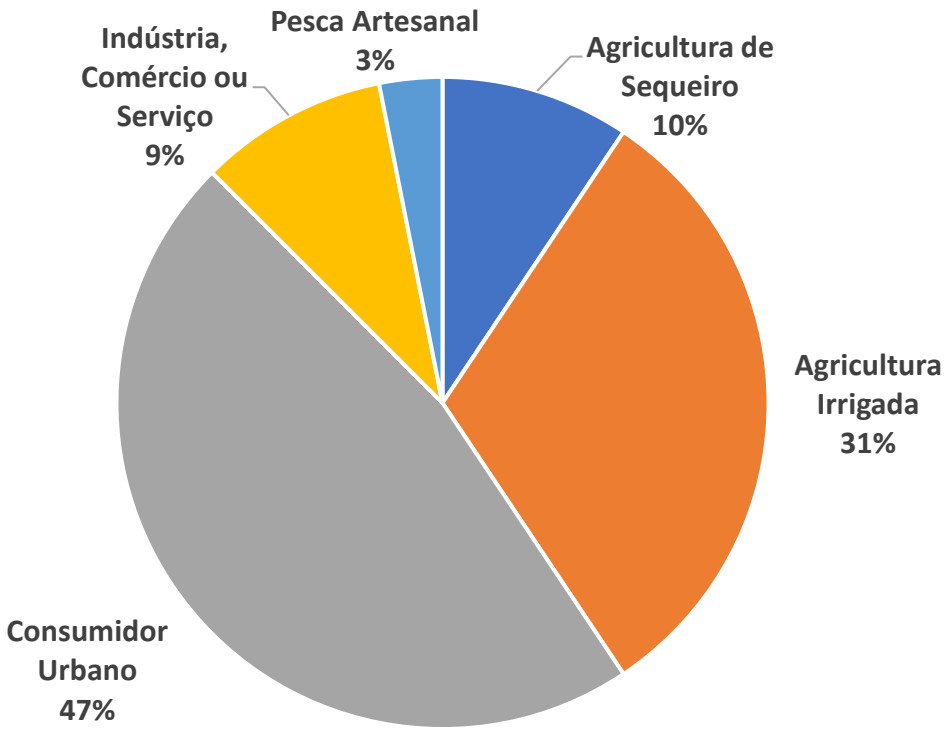

Figura 2 - Porcentagem de Respondentes por Categoria de Usuário de Recursos Hídricos no Oeste da Bahia

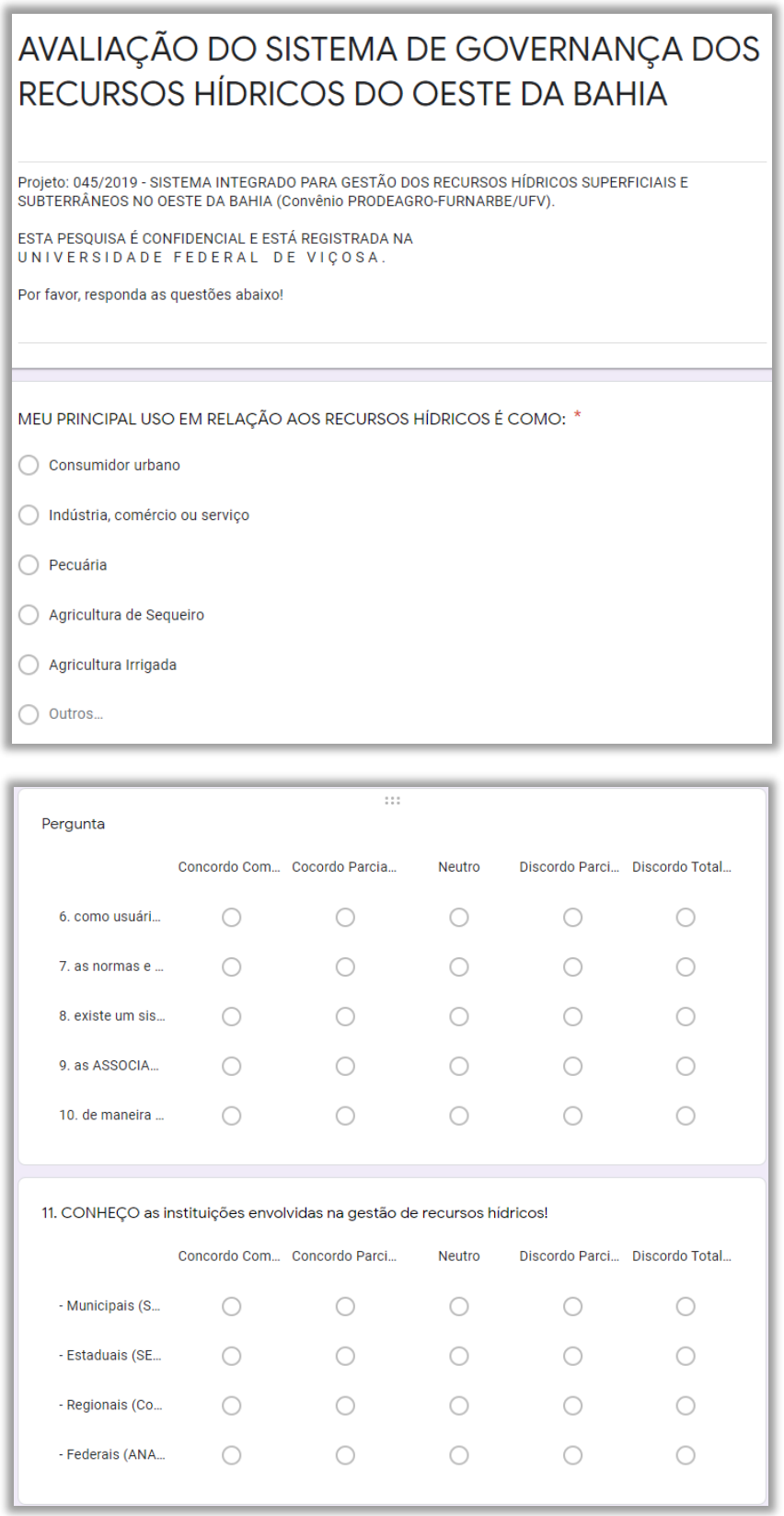

Figura 3 - Telas do Questionário de Avaliação do Sistema de Governança dos Recursos Hídricos do Oeste da Bahia

Para cada questão foi calculada a média e o desvio padrão, conforme apresentado na tabela a seguir. As questões estão classificadas em ordem decrescente da média.

Quadro 1 - Média e Desvio Padrão das Respostas dos Usuários sobre a Avaliação do Sistema de Governança dos Recursos Hídricos do Oeste da Bahia

QUESTÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
09. As ASSOCIAÇÕES que representam meus interesses têm realizado um bom trabalho para melhorar a gestão de recursos hídricos!	0,93	1,14
21. Confio nas instituições Regionais (Comitê de Bacia Hidrográfica) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,88	0,34
15. Conheço as instituições Estaduais (SEMA, INEMA, SIHS) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,87	0,73
17. Conheço as instituições Regionais (Comitê de Bacia Hidrográfica) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,77	1,02
16. Conheço as instituições Federais (ANA, IBAMA, CPRM) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,70	0,70
04. A COBRANÇA pelo uso de águas é um mecanismo importante para a gestão de recursos hídricos!	0,66	1,18
18. Conheço as instituições Municipais (Secretaria de Meio Ambiente) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,57	1,10
20. Confio nas instituições Federais (ANA, IBAMA, CPRM) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,50	0,63
23. As lideranças tem realizado um bom trabalho para melhorar a gestão de recursos hídricos!	0,50	0,73
08. As INSTITUIÇÕES que participam da gestão de recursos hídricos são eficientes e capazes de adequar-se a mudanças	0,44	0,89
01. Sou capaz de INFLUENCIAR as leis e normas que regulam o uso de recursos hídricos!	0,42	1,09
22. Confio nas instituições Municipais (Secretaria de Meio Ambiente) envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos!	0,40	0,83
06. Como usuário, recebo mesmo TRATAMENTO por parte dos gestores de recursos hídricos que os outros usuários!	0,28	1,07
19. Confio nas instituições envolvidas na gestão/fiscalização de recursos hídricos! [- Estaduais (SEMA, INEMA, SIHS)	0,25	1,00
02. As regras de uso de recursos hídricos são CLARAMENTE DEFINIDAS!	0,19	1,15
05. Aqueles que descumprem leis e normas relacionadas aos recursos hídricos sofrem penalidades adequadas!	0,16	1,34
13. As instituições Municipais (Secretaria de Meio Ambiente) dispõem de recursos financeiros adequados!	0,13	0,86
11. As instituições abaixo dispõem de recursos financeiros adequados! [- Federais (ANA, IBAMA, CPRM)	0,10	0,88

Continua...

Quadro 2 - Cont.

QUESTÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
24. As normas e leis que regulam o uso de recursos hídricos consideram as características de minha região!	-0,13	1,02
10. As instituições e staduais (SEMA, INEMA, SIHS) dispõem de recursos financeiros adequados!	-0,13	1,04
14. As instituições envolvidas na gestão de recursos hídricos estão integradas e trocam informações	-0,26	1,15
03. Há mecanismos eficientes para a RESOLUÇÃO DE CONFLITOS entre usuários de recursos hídricos!	-0,33	1,18
07. As normas e leis que regulam o uso de recursos hídricos consideram as CARACTERÍSTICAS de minha região!	-0,43	1,16
12. 8. As instituições Regionais (Comitê de Bacia Hidrográfica) dispõem de recursos financeiros adequados!	-0,61	1,09
25. Existe um sistema efetivo de monitoramento de recursos hídricos!	-0,74	1,12

Os resultados são apresentados a seguir em forma de gráfico:

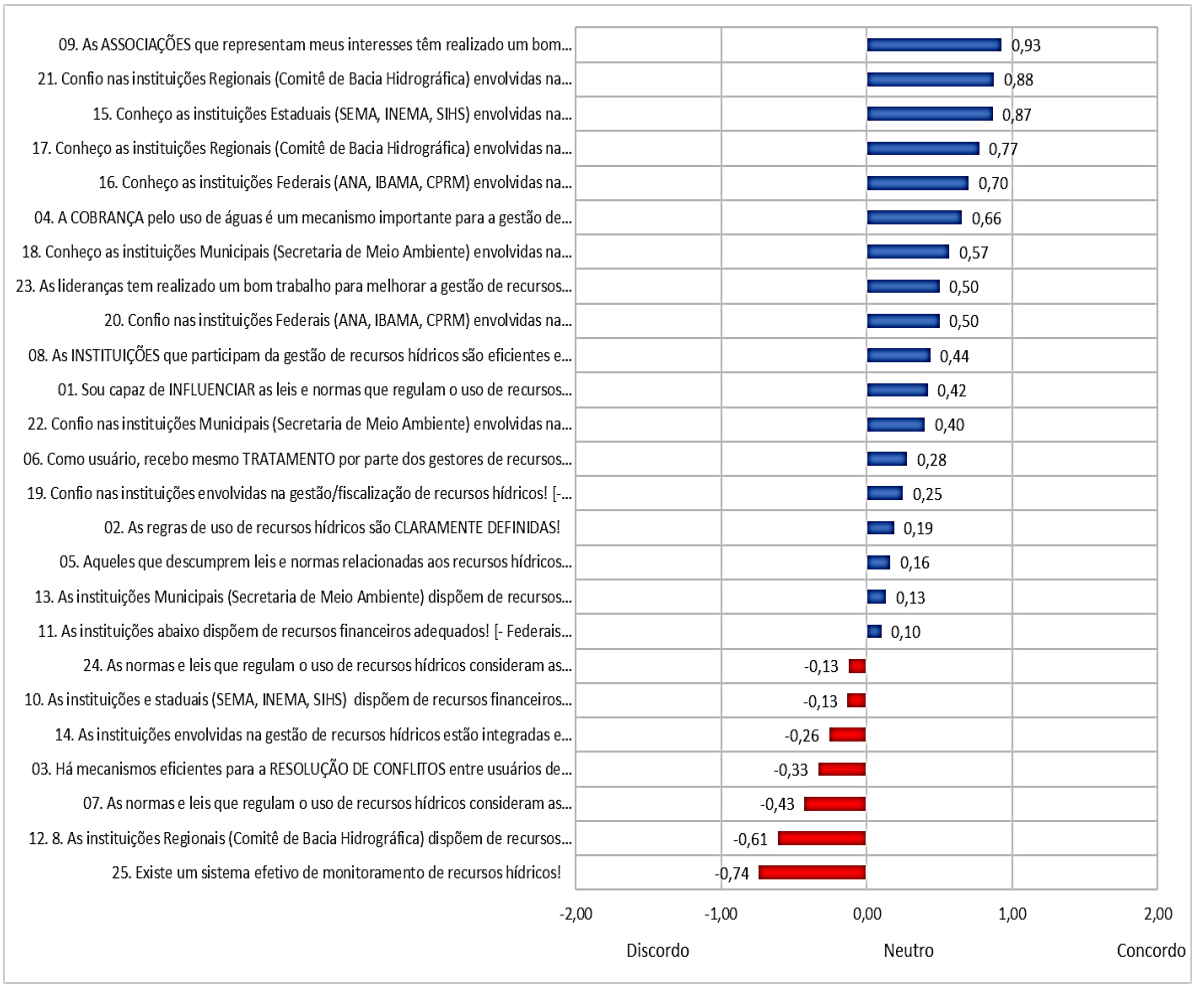

Figura 4 - Resultados.

O número de questionários respondidos foi insuficiente para, estatisticamente, fazer inferências sobre a população. Entretanto, os resultados foram essenciais para as discussões sobre o papel das instituições e para a elaboração das propostas de ações de governança e monitoramento.

O critério com melhor avaliação foi "*trabalho realizado por associações que representam os interesses dos usuários*", com média de 0,93 indicando que os usuários concordam com a afirmação. Entretanto, o alto desvio padrão indica que, apesar da média ser alta, há grande divergência de opinião entre os usuários (coeficiente de variação de mais de 100%). O segundo critério com maior média foi a "*confiança nas Instituições Regionais*", que envolve os Comitês de Bacias Hidrográficas. Neste critério, o grau de divergência entre as opiniões dos usuários foi menor que o critério anterior, com coeficiente de variação de 38,6%.

Por outro lado, o critério considerado menos favorável pelos usuários foi a "*existência de um sistema efetivo de monitoramento de recursos hídricos*" com média de -0,74 indicando que os usuários discordam que existe um sistema efetivo. Entretanto, há também grande divergência de opinião entre os usuários como coeficiente de variação acima de 100%. O segundo critério considerado menos favorável foi a "*disponibilidade de recursos para as instituições regionais*", como os Comitês de Bacias Hidrográficas, com média de -0,61.

Para subsidiar as discussões sobre o sistema de Governança, foram elaboradas tabelas que sintetizam informações hidrográficas e econômicos conforme a metodologia de Contas Econômicas e Ambientais da Água. Apesar das planilhas terem sido preenchidas, alguns dados utilizados foram aproximados. Em reuniões realizadas entre as equipes de governança e equipes das áreas de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, chegou-se à conclusão que a falta de informações mais detalhadas de algumas variáveis (como estoque inicial das águas subterrâneas) inviabiliza a publicação dos resultados. De qualquer modo, os critérios utilizados foram sintetizados no documento Notas, incluídas em anexo. Apesar da impossibilidade de realizar análises fundamentadas tecnicamente pela falta de dados e o fato de que tabelas não terem sido preenchidas, o objetivo de utilização da metodologia para subsidiar discussões para proposição de modelos de governança e monitoramento foi atingida. Os dados parciais permitiram identificar demandas, volumes e fluxos chave para a gestão dos recursos hídricos. Em relação aos aspectos econômicos, dados do IBGE foram incluídos no sistema OBahia e foram, em conjunto com dados das tabelas, utilizados em discussões para proposição de modelos.

VI.1 - Tabela de Ativos (milhões de m³)

	Água Superficial			Água Subterrânea	Água no Solo	TOTAL
	Reservatórios Artificiais	Lagos	Rios			
1. Estoques Iniciais	18,2	3,2	150,50	253.000,00	1,2	**253.173,10**
Aumentos nos Estoques						
2. Retornos					0,00	**0,00**
3. Precipitação	9,02	1,59	29,85		74.377,00	**74.417,46**
4. Entradas			14.884,04	15.067,76	0,00	**29.951,80**
4.a. De territórios à montante	-	-				**0,00**
4.b. De outros recursos no território			14.884,04	15.067,76	0,00	**29.951,80**
Diminuição nos Estoques						
5. Captação			3.041,33	183,72	10.387,39	**13.612,44**
6. Evaporação / Evapotranspiração	8,21	1,45	27,18		67.725,00	**67.761,84**
7. Saídas			11.788,86	14.884,04		**26.672,90**
7.a. Para territórios à jusante			8.420,89			**8.420,89**
7.c. Para outros recursos no território	-	-	3.367,97	14.884,04		**18.252,01**
8. Outras alterações no volume						**0,00**
9. Estoques Finais	**19,01**	**3,34**	**207,02**	**253.000,00**	**-3.734,19**	**249.495,18**

Figura 5 - Tabela de Ativos com Dados Aproximado das Contas Econômicas e Ambientais das Águas

A avaliação do Sistema de Governança dos Recursos Hídricos do Oeste da Bahia foi realizada para atender ao objetivo do projeto de “propor modelos de governança e monitoramento”. Para obter dados e informações para a avaliação foram realizadas diversas reuniões descritas a seguir.

- **Reunião com Membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande**

  Data: 10/02/2020

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Reunião com Diretor e membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande para discutir sobre o sistema de governação dos recursos hídricos no Oeste da Bahia e sobre os itens do questionário de avaliação. As questões a serem incluídas no questionário foram apresentadas e solicitado a autorização para o envio aos membros do Comitê.

Figura 6 - Reunião dia 10/02/2020.

- **Participação do Prof. Aziz Galvão na XXXVII Reunião Ordinária do CBHG**

  Data: 26/06/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Nesta reunião, além da apresentação de resultados parciais do projeto, foi solicitado o apoio do Comitê de Bacia para a realização de atividades de avaliação do sistema de governança e análise de rede.

Figura 7 - Reunião Ordinária do CBHG no dia 26/06/2020.

- **Apresentação das contas econômicas e ambientais da água equipe técnica da AIBA**

  Data: 31/07/2020:

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com técnicos da AIBA para apresentação da metodologia de Contas Econômicas Ambientais da Água, demonstração de sua importância para governança e exemplo de utilização, bem como levantamento dos possíveis locais para sua aplicação.

Figura 8 - Apresentação de Contas Econômicas e Ambientais de Água.

- **Reunião entre equipe de técnicos da AIBA e equipe de pesquisa da UFV sobre contas econômicas e ambientais da água**

  Data:16/04/2021

  Local: Remotamente

Atividades: Reunião entre equipe de técnicos da AIBA e os membros do projeto na UFV com o objetivo de analisar e completar as contas econômicas e ambientais da água.

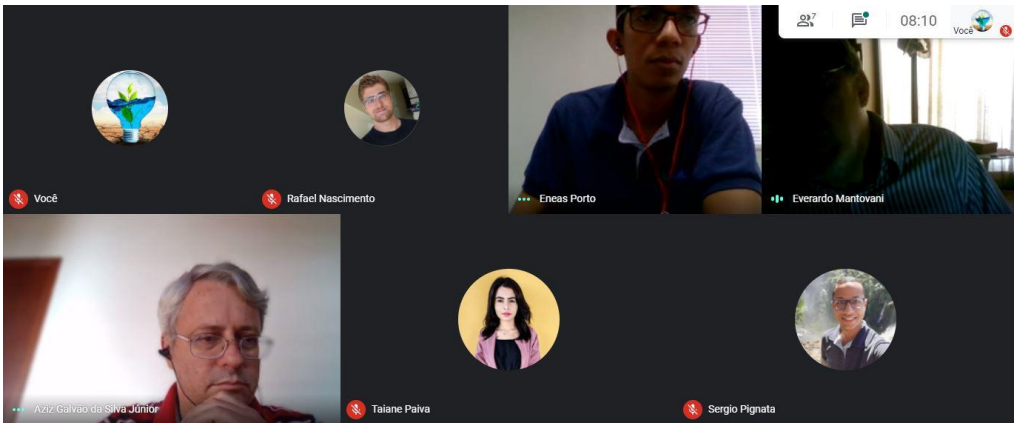

Figura 9 - Reunião dia 16/04/2021.

- **Reunião e discussão com equipe de técnicos da AIBA e o Diretor do Instituto AIBA sobre questionários aplicados e proposição de novas atividades em conjunto com a AIBA**

  Data: 25/11/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião entre equipe de técnicos da AIBA e diretor do Instituto AIBA com o objetivo de selecionar produtores e atores do sistema de governança para aplicação de questionários. Discussão de ações de desenvolvimento da agricultura familiar irrigada.

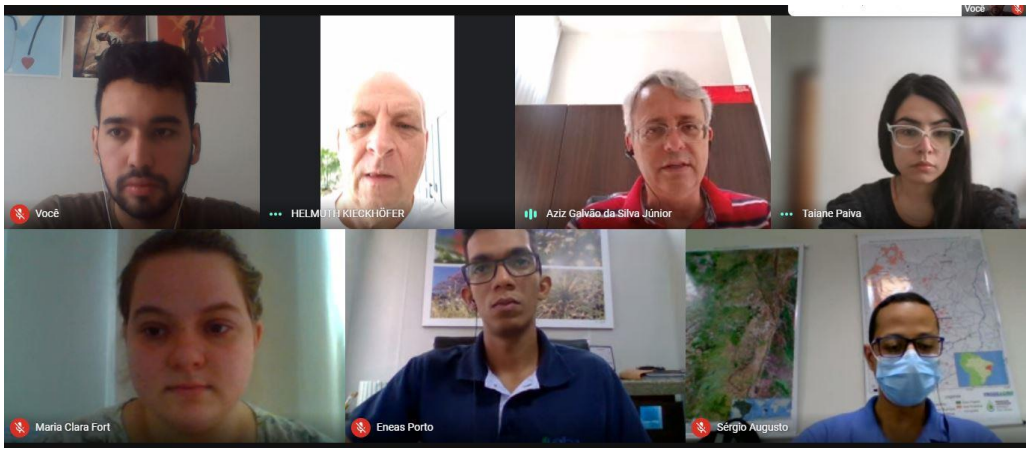

Figura 10 - Reunião dia 25/11/2020.

5.2.2 Rede de Relacionamento dos Participantes

Entender a interação entre usuários e partes interessadas no uso e gestão dos recursos hídricos é essencial para a implementação das ações para aprimoramento dos sistemas de governança e monitoramento. Com base na lista de participantes do sistema de Governança obtida no Estudo do Potencial Hídrico (Convênio 011/2016), lista dos associados da AIBA e

Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande, foi aplicado um questionário com usuários e membros do Comitê de Bacia Hidrográfica para avaliar a interação entre os participantes do sistema de governança, utilizando a Análise de Redes Sociais (SNA).

Em relação aos agricultores, foram selecionados agricultores considerados referência pela AIBA, pois o objetivo de aplicar a metodologia foi fornecer informações estruturadas para a proposição de modelos de Governança, considerando o potencial de expansão sustentável da Irrigação no Oeste da Bahia. A seguinte pergunta foi incluída no questionário utilizado para avaliar o Sistema de Governança discutido no objetivo específico 2.1.

- *Indique organizações/pessoas com as quais você busca informações sobre gestão de recursos hídricos:*

Os resultados foram analisados e discutidos em reuniões com a equipe técnica da AIBA e a equipe do projeto e foram utilizados na proposição de modelos de governança e monitoramento. Pelo fato da análise ter sido direcionada e aplicada a um número reduzido de produtores, não foi realizada análise quantitativa utilizando a metodologia de Análise de Redes Sociais.

A Diretoria do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande autorizou a disponibilização de um questionário para os membros, no qual foi solicitada a indicação de outros membros/ organizações que seriam procurados para obter informações sobre a Gestão dos Recursos Hídricos. Os resultados dos questionários respondidos por membros do Comitê de Bacia Hidrográfica foram complementados com informações obtidas em reuniões entre a equipe e técnicos da AIBA, participantes do comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Os resultados dos principais indicadores são apresentados na figura.

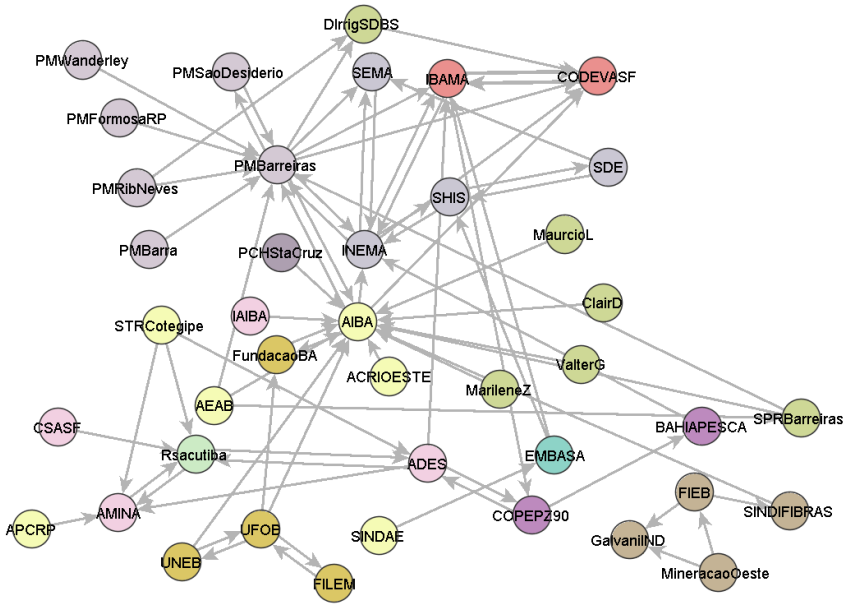

Figura 11 - Rede de Relacionamento Baseada em Resposta dos Questionário e Discussões com Equipe Técnica da AIBA. As cores indicam a natureza das instituições.

Os principais indicadores relacionados à estrutura da rede, calculados utilizando o software Visone são apresentados a seguir:

Quadro 3 - Indicadores de Estrutura de Rede calculados pelo Software Visone

avg. degree	3.65853...
avg. in- / outdegree	1.82926...
conn. components	1.0
density	0.04573...

O número de conexões médio entre os participantes da rede Comitê de Bacia do Rio Grande é de 3,66. Como a rede é direcionada, ou seja, há diferença entre quem indica e quem é indicado na rede, a média dos indicadores conhecidos como *indegree* (número de vezes que o ator é buscado) e *outdegree* (número de vezes que o ator busca informações) é de 1,83. A densidade da rede é de 0,0457, ou seja, a rede tem 4,57% do total de possíveis relacionados entre os atores. É uma rede relativamente pouco densa.

A relevância das instituições como fonte de informações considerando a interação entre os participantes da rede Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande, pode ser quantificada utilizando-se o indicador *Indegree* que permite avaliar o grau de "referência" de um ator em uma rede social. A figura a seguir mostra a importância relativa de cada instituição.

Quadro 4 - Indicadores de *Indegree* (Referência) calculados pelo Software Visone

CODIGO	indegree (%)
AIBA	18.667
PMBarreiras	12
INEMA	8
CODEVASF	6.667
IBAMA	6.667

O gráfico a seguir permite visualizar a importância utilizando uma escala de cores, na qual quanto mais escura maior o grau de referência do indicador.

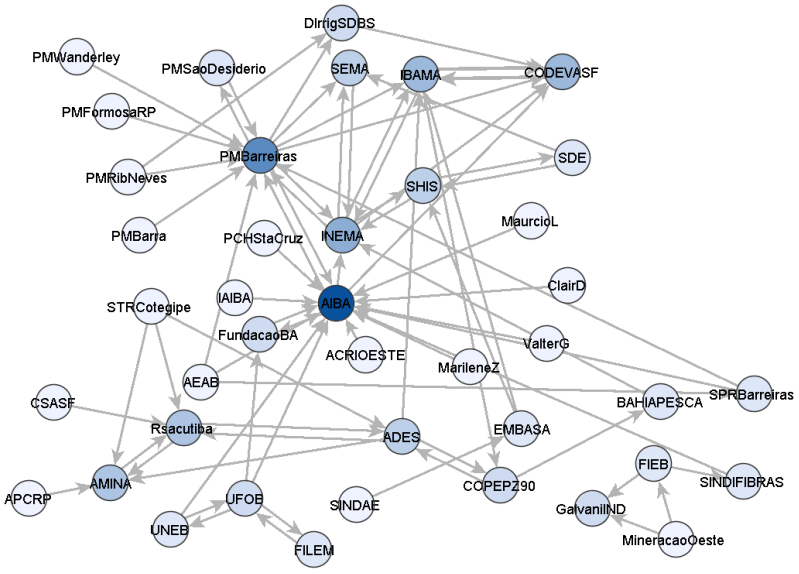

Figura 12 - Importância relativa quanto ao Grau de Referência como Fonte de Informações na Rede Social do Comitê de Bacia Hidrográfica.

5.2.3 Envolvimento Dos Participantes

A confiança entre os participantes de um sistema de governança de bens comuns é um dos critérios chave, apontados por diversos acadêmicos e organizações públicas, para que um sistema de governança seja considerando eficiente. No caso dos recursos hídricos, um sistema eficiente é aquele que garante o uso múltiplo das águas considerando prioridades acordadas pela sociedade e reguladas por leis. A proposição e implementação de um modelo de governança e monitoramento que garanta a expansão sustentável da irrigação deve considerar e criar canais transparentes de comunicação. Neste sentido, as ações iniciadas no âmbito do Estudo do Potencial Hídrico (convênio 011/2016) foram alo longo de todo o projeto e buscou-se obter informações e comunicar claramente para os participantes chave do sistema de governança os resultados do trabalho. Entre as ações de envolvimento e divulgação das ações do projeto no âmbito federal, o projeto foi apresentado na Comissão Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática da Câmara do Deputados. A comunicação com a justificativa é apresentada em anexo.

Em função da Pandemia de COVID, ações planejadas incialmente para serem presenciais foram realizadas de forma virtual, sendo que algumas delas, como viagens internacionais e visitas de campo tiveram que ser cancelas. Entretanto, mesmo com estas restrições, todas as ações para envolvimento de parceiros chave foram executadas.

- **Reunião com Dirigente da Associação de Irrigantes do Norte de Minas Gerais e Secretários de Agricultura e Meio Ambiente de Minas Gerais**

  Data: 29/07/2019

  Local: Unaí - MG

  Atividades: Discussão dos impactos do uso da água na agricultura da região Noroeste de Minas Gerais. Parte da região Noroeste de Minas está localizada na área do aqüifero Urucuia e as rios da bacia do Rio Corrente são compartilhadas por esta região. Durante a reunião, foram repassadas informações sobre o Estudo do Potencial Hídrico e atividades a serem desenvolvidos no âmbito do projeto Sistema Integrado para Gestão dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos no Oeste da Bahia.

Figura 13 - Reunião dia 29/07/2019.

- **Reunião com Professores da UFOB**

  Data: 31/07/2019

  Local: AIBA

  Atividades: Reunião com professores da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Universidade Estadual da Bahia (UNEB) além de Faculdades privadas como FASB. Na ocasião foi apresentado aos presentes os trabalhos realizados na região pela Universidade Federal de Viçosa e as perspectivas futuras visando ações junto aos docentes locais e seus alunos. Contato com pesquisadores e pesquisas conduzidas pelos professores no dia 31 de julho de 2019 para avaliação da viabilidade de interação com os projetos na área de gestão de recursos hídricos e desenvolvimento da agricultura familiar. A UFOB é um participante chave no sistema de governança de Recursos Hídricos.

Figura 14 - Reunião dia 31/07/2019.

- **Audiência Pública Sistema de Inteligência Territorial na Gestão dos Recursos Hídricos**

  Data: 20/11/2019

  Local: Brasília - DF

  Atividades: Audiência pública na Comissão de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática da Câmara dos Deputados. O projeto foi apresentado pelos Professores Everardo Mantovani e Marcos Heil, contando também com a participação do Professor Christopher Neale da Universidade do Nebraska e do Secretário de Agricultura da Bahia, Lucas Costa. Estiveram presentes dos Professores Aziz Galvão, Eduardo Marques e Gerson Cardoso.

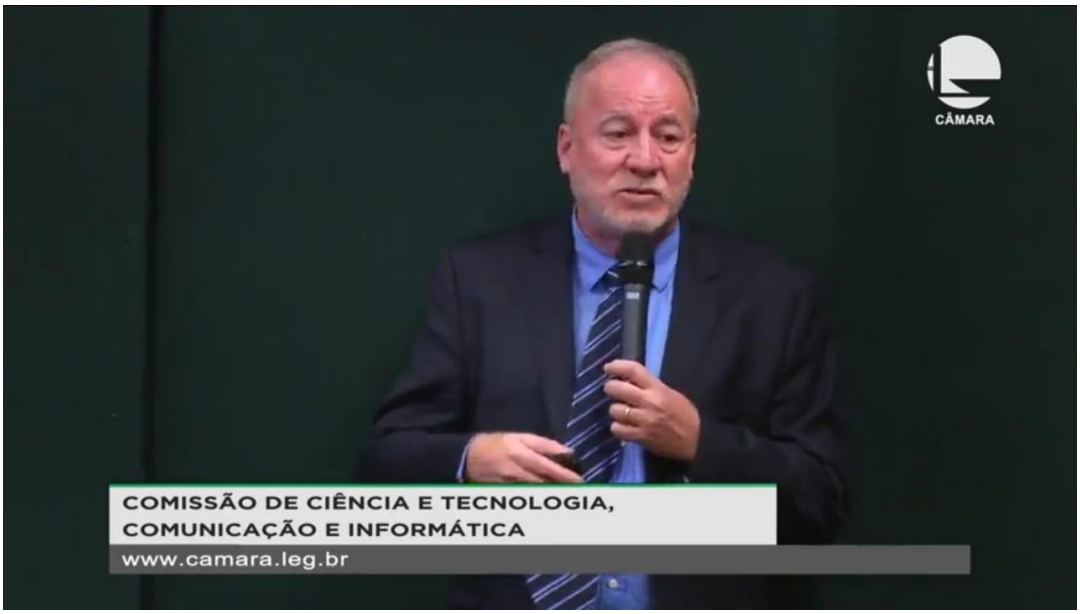

Figura 15 -Audiência Pública dia 20/11/2019.

Figura 16 - Audiência Pública dia 20/11/2019.

- **Participação do Prof. Aziz Galvão na Reunião Ordinária do CBHC, realizada por meio virtual**

  Data 15/07/2020:

  Local: Remotamente

  Atividades: Identificação dos principais atores (stakeholders) envolvidos, bem como descrição das características e das conexões entre ele com o objetivo de entender a interação entre usuários e partes interessadas na gestão dos recursos hídricos. A análise envolveu pesquisadores, técnicos da AIBA e membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Corrente. Seguindo a tipologia proposta por Borgatti (2009), os seguintes tipos de conexões entre atores foram considerados: i) semelhanças, ii) interações e iii) fluxos de informações

Figura 17 - Reunião Ordinária do CBHC dia 15/07/2020.

- **Reunião com os Produtores Rurais César Busato, Adelar Pizzato e Denilson Roberti, membros do CBHG Corrente para avaliação e discussão sobre a atuação do comitê**

  Data: 02/09/2020:

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com produtores membros do CBHC, dentre eles César Busato, Pizzato Adelar e Denilson Roberti para avaliação e discussão sobre a atuação do comitê e seus representantes. Discussão de questionário com técnicos da AIBA e membros específicos do Comitê para obtenção do fluxo de informações entre os membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Corrente, bem como fontes externas de informações sobre recursos.

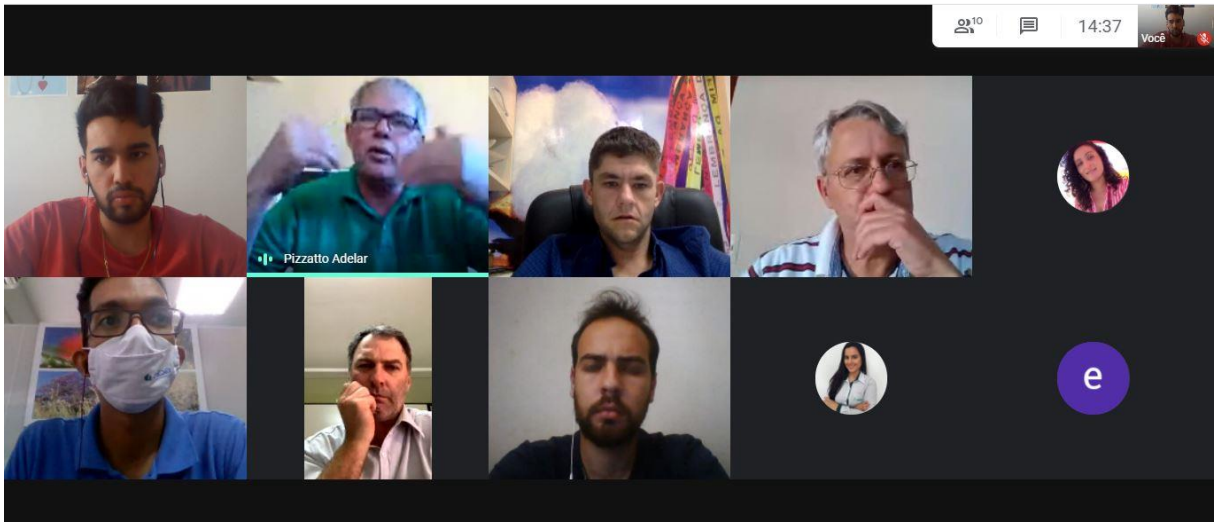

Figura 18 - Reunião dia 02/09/2020.

- **Reuniões e contato entre equipe do Projeto e Empresa Hydros**

  Atividades: A empresa Hydros que ficou responsável pela elaboração do Plano de Recursos Hídricos e da Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da RPGA do Rio Grande e da RPGA do Rio Corrente e Riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho.

Figura 19 - Reunião com a empresa Hydros.

- **Reunião com Diretores e Técnicos da Empresa Naandanjain sobre projetos de irrigação na agricultura familiar no Oeste da Bahia**

  Data: 03/02/2020:

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Reunião com técnicos da AIBA e o Diretor e Técnico da empresa Naandanjain (Dr. Antônio Alfredo Mendes e técnico (Eng. Agron. José Miguel da Silva Júnior). O objetivo da reunião foi discutir projetos de agricultura familiar irrigada envolvendo unidades demonstrativas, bem como planejamento de propriedades rurais, assistência técnica e capacitação de técnicos e produtores nas regiões de Barra, Bacia do Rio de Janeiro, cinturão verde do município de Barreiras e unidades de ensino da região Oeste da Bahia.

Figura 20 - Reunião dia 03/02/2020.

- **Audiência com o Vice=Governador do Estado da Bahia, Sr. João Leão, com a presença do Deputado Estadual Eduardo Salles**

  Data: 05/02/2020:

  Local: Salvador - BA

  Atividades: Audiência com o Vice-Governador do Estado da Bahia, com a presença de representante do Poder Legislativo e lideranças de usuários de água (ABAPA e AIBA). O objetivo da audiência foi apresentar resultados do projeto de Disponibilidade Hídrica e discutir ações relacionadas aos estudos do projeto atual e ações de governança e monitoramento.

Figura 21 - Reunião dia 05/02/2020.

- **Audiência no Ministério Público da Bahia, com a presença do Vice-Governador e representantes do Poder Legislativo e usuários de água**

  Data: 05/02/2020:

  Local: Salvador - BA

  Atividades: Audiência no Ministério Público da Bahia para apresentação dos resultados do estudo de disponibilidade hídrica e ações do projeto. A audiência contou com presença da Promotora Chefe e da Promotora Chefe do CEAMA e Presidente da ABAMPA, além do Sr. Vice-Governador do Estado da Bahia, do Deputado Estadual membro da Comissão de Agricultura e Política Agrícola e de representantes de agricultores e usuários de água).

Figura 22 - Audiência dia 05/02/2020.

- **Reunião na SEMA no Ministério Público da Bahia, com a presença do Vice-Governador e representantes do Poder Legislativo e usuários de água**

  Data: 05/02/2020:

  Local: Salvador - BA

  Atividades: Reunião com os Secretários de Estado da Bahia de Meio Ambiente (SEMA), Agricultura (SEAGRI), Infraestrutura Hídrica e Saneamento Básico (SHIS), Desenvolvimento Econômico (SDE) e Ciência e Tecnologia (SECTI), com a presença do Sr. Vice-Governador do Bahia. Estiveram presente e participaram da reunião a Diretores destas secretarias e também a Diretora Geral do INEMA.

Figura 23 - Reunião na SEMA dia 05/02/2020.

- **Reunião com Diretor do Campus da UFOB em Barra e técnicos da AIBA**

  Data: 07/02/2020:

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Reunião com Diretor do Campus da UFOB em Barra (Prof. Jairo Torres). O objetivo foi discutir o envolvimento de pesquisadores e acadêmicos no projeto Sistema Integrado. Planejamento de atividades em conjunto entre a UFV e a UFOB/Campus de Barra. O envolvimento de ensino e pesquisa é um instrumento essencial na implementação de ações para capacitação e assistência aos usuários de envolvidos na gestão dos recursos hídricos.

Figura 24 - Reunião dia 07/02/2020.

- **Visita e Reunião na Associação Nova Ponta D´Água sobre irrigação na agricultura familiar**

  Data: 08/02/2020:

  Local: Cotegipe - BA

  Atividades: Reunião com Produtores Rurais da Associação Nova Ponta D´Água no Município de Cotegipe sobre agricultura familiar irrigada. A reunião contou com a presença de representantes do BNB (Banco do Nordeste do Brasil), Projeto Bahia Produtiva, Empresa Prosperar, técnico da iIAIBA. Contato com potenciais usuários e beneficiários de sistemas de irrigação na agricultura familiar. Elaboração de projeto piloto de implantação de sistema compartilhado de pivô central a ser enviado para avaliação de apoio pela empresa Valmont. A ação permitiu também estabelecer canal de comunicação com a Sr. Marly Figueiredo representante da principal instituição financeira da região (Banco do Nordeste), com o coordenador regional do Projeto Bahia Produtiva, Eng. Agron. Eduardo e o extensionista da empresa que atua na região, Eng. Agron. Givanildo.

Figura 25 - Reunião dia 08/02/2020.

- **Reunião entre o Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande e coordenadores do projeto Sistema Integrado na UFV**

  Data: 14/02/2020:

  Local: Viçosa - MG

  Atividades: reunião entre o Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande e coordenadores do projeto Sistema Integrado na UFV para apresentação dos resultados do projeto de Disponibilidade Hídrica, discussão de ações do projeto, modelos de governança e monitoramento. Contato e repasse de informações detalhadas sobre o estudo Potencial Hídrico e ações futuras do projeto Sistema Integrado com o Sr. Demóstenes Júnior, Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

Figura 26 - Reunião dia 14/02/2020.

- **Audiência com o Prefeito e Secretários do Município de Ubá com a Presença do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande**

  Data: 14/02/2020

  Local: Ubá - MG

  Atividades: Visita do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande a UFV. Apresentação de projetos desenvolvidos na UFV

Figura 27 - Audiência dia 14/02/2020.

- **Visita do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande a intervenções de um projeto de Pagamento por Serviços Ambientais na região de Ubá**

  Data: 14/02/2020:

  Local: Ubá - MG

  Atividades: Visita do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande a intervenções de um projeto de Pagamento por Serviços Ambientais na região de Ubá, MG. Reunião com o Prefeito Municipal (Eng. Agron. Edson Teixeira) e os Secretários de Meio Ambiente e Transporte (Srs. Vicente de Paula Pinto e João Gomes Júnior) e o Chefe da Divisão de Meio Ambiente e Agricultura e coordenador do Projeto PSA-Ubá (Eng. Agr. Antônio Amaral). Repasse de informações e experiências de um projeto em andamento na área de Pagamento por Serviços na região de Ubá para o Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

Figura 28 - Visita dia 14/02/2020.

Figura 29 - Visita dia 14/02/2020.

- **Audiência do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande com o Mg. Reitor da Universidade Federal de Viçosa.**

  Data: 14/02/2020

  Local: Viçosa - MG

  Atividades: Audiência do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande com o Mg. Reitor da Universidade Federal de Viçosa. Envolvimento e apoio da Alta Administração da UFV também a projeto e ações complementares ao Projeto Sistema Integrado, em especial na área de PSA e agricultura familiar.

Figura 30 - Audiência dia 14/02/2020.

- **Visita do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande ao Parque Estadual da Serra do e Projetos de Turismo de Base Social e Ambiental na Agricultura Familiar.**

  Data: 15/02/2020

  Local: Araponga - MG

  Atividades: Visita do Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande ao Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e Empreendimentos de Turismo de Base Social e Ambiental. Disponibilização de informações e experiências concretas de projetos nas áreas de turismo rural de base social e ambiental para o Presidente do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

Figura 31 - Visita dia 14/02/2020.

Figura 32 - Visita dia 15/02/2020.

- **Reunião com a empresa Cargill na Sede da AIBA**

  Data: 10/03/2020

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Reunião com a empresa Cargill representada por Renata Nogueira (Gerente de Sustentabilidade do Brasil e da América Latina), João Alexandre de Carvalho (Gestor de Inovação Cargill Brasil e América Latina), Renato Francial (Responsável pela área comercial do Nordeste e Minas Gerais) e Emily (Auditora Sustentabilidade Oeste da Bahia) para apresentação da região e discussão de projetos a serem financiados pela Cargill. Apresentação do projeto de recursos hídricos do Oeste da Bahia e apresentação resumida de duas propostas relacionadas ao carbono no solo e eficiência de irrigação, ambos projetos, a serem desenvolvidos em parceria com AIBA e complementam as informações do estudo de recursos hídricos

Figura 33 - Reunião dia 10/03/2020.

- **Reunião com o presidente da empresa Valmont sobre o projeto de um Pivô Central Compartilhado para agricultura familiar na região**

  Data: 20/05/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com o presidente da empresa Valmont, Renato Silva e Sergio Zaggo, da empresa Pivo Drip acerca do projeto de um Pivô Central Compartilhado para agricultura familiar na região. Dentre os participantes estavam Alessandra Chaves da AIBA, Helmuth Kieckerhoefer do Instituto Aiba e os professores Everardo Mantovani e Aziz Galvão. Aprovação do apoio da diretoria da empresa Valmont ao projeto Pivô Compartilhado na Agricultura Familiar.

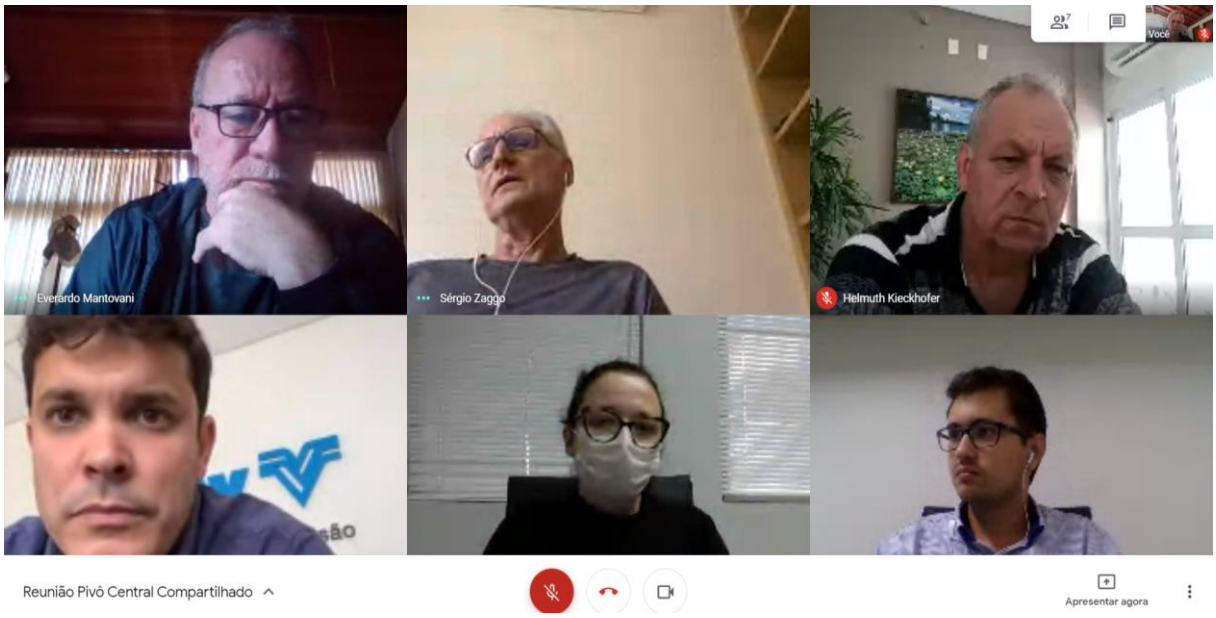

Figura 34 - Reunião dia 20/05/2020.

- **Reunião com a empresa Prosperar sobre ações na Associação Nova Ponta D´Água**

  Data: 19/08/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com os técnicos Givanildo e Jozelmo da empresa Prosperar para discussões acerca da instalação de um pivô compartilhado na Associação Nova Ponta D´Água e discussão sobre coeficientes técnicos de produção agrícola da região de Cotegipe – BA de algumas atividades agropecuárias para analisar a viabilidade do projeto na Associação. Definição das melhores atividades agropecuárias de acordo com os coeficientes técnicos da região e o perfil dos produtores da associação, e além disso, o número de safras por ano.

Figura 35 - Reunião dia 19/08/2020.

- **Reunião com a empresa Prosperar sobre ações na Associação Nova Ponta D´Água**

  Data: 27/08/2020:

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com Givanildo, técnico da Prosperar para analisar qual seria o melhor arranjo da divisão do pivô compartilhado entre os produtores, além disso, desenvolvimento de uma planilha para analisar os custos de produção e margem liquida das atividades agropecuárias sobre o pivô compartilhado na Associação Nova Ponta D'Água. Definição do melhor arranjo de divisão do pivô entre os produtores, resultados positivos com dados inseridos na planilha.

Figura 36 - Reunião dia 17/08/2020.

- **Reunião com a empresa Prosperar, Eduardo Duarte membro assistente territorial do Bahia Produtiva sobre ações na Associação Nova Ponta D´Água.**

  Data: 12/08/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com os técnicos Givanildo e Jozelmo da empresa Prosperar, técnico Eduardo Duarte assistente territorial do Bahia Produtiva e Helmuth Kieckhöfer do Instituto Aiba, para discussão da atividade de pecuária leiteira sobre o manejo adequado dos animais, proposição de culturas para alimentação desses animais, safras e manejos a serem adotados pela associação para agropecuária irrigada em pivô central na área compartilhada. Embasamento sobre as alternativas adequadas que podem ser realizadas no pivô para se adquirir maior eficiência na pecuária leiteira.

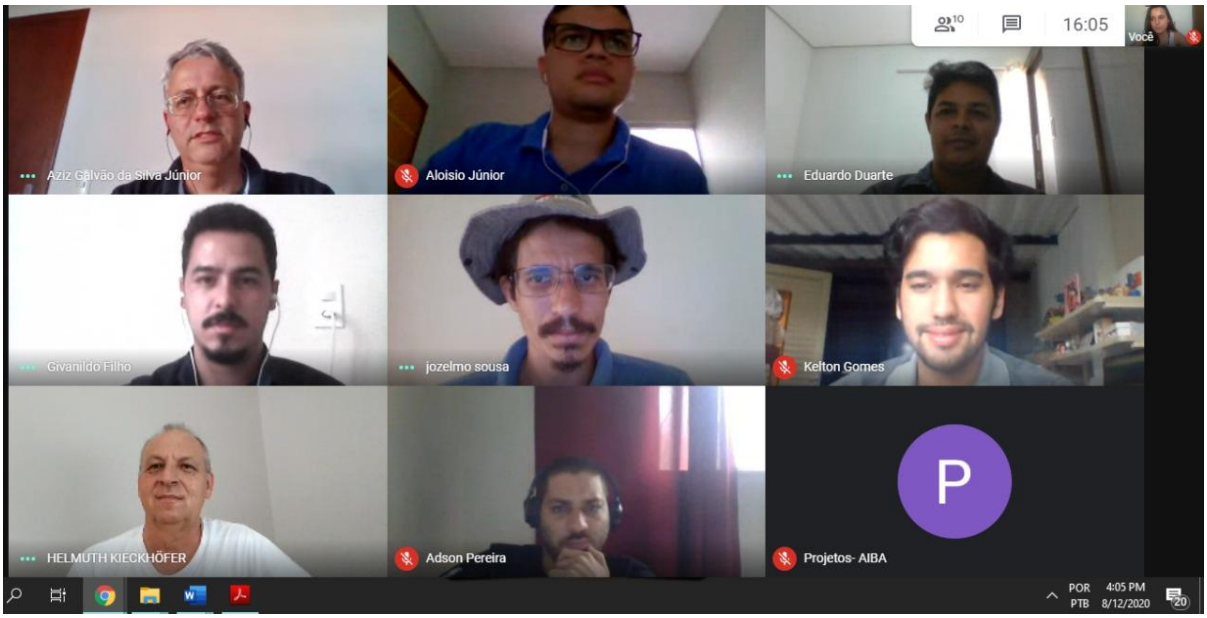

Figura 37 - Reunião dia 19/08/2020.

- **Reunião com o Hiran Moreira, responsável pelo sistema de Leasing da empresa Valmont no Brasil, Sergio Zaggo, da empresa Pivo Drip e Givanildo Filho técnico da empresa Prosperar**

  Data: 25/05/2020:

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com o Hiran, responsável pelo sistema de Leasing da empresa Valmont no Brasil, Sergio Zaggo, da empresa Pivo Drip e Givanildo técnico da empresa Prosperar, tendo a proposição de alguns modelos de orçamentos de acordo com o período de carência, além de ser descrito todos os serviços e produtos que estão incluídos no serviço de leasing da empresa para associação. Proposta de um pivô compartilhado na região de acordo com modelos de dois períodos de carência pela empresa Valmont e contraproposta para aumentar o tempo de carência realizada pela empresa Prosperar.

- **Reunião Temática com Produtores Rurais da Bacia do Rio Corrente (Plano de Bacia Hidrográfica)**

  Data: 03/09/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Participação do Prof. Aziz Galvão na reunião temática "produtores rurais" organizada pelo consórcio Hydros no âmbito do Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos De Água da RPGA do Rio Corrente. Entendimento e discussão da proposta apresentada com base nos resultados dos estudos em andamento.

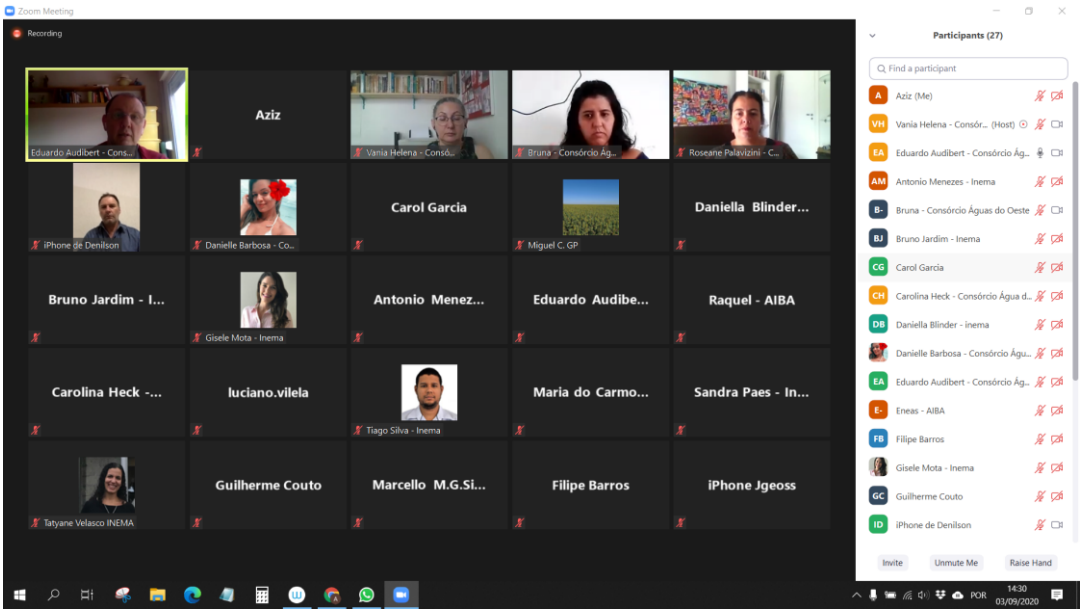

Figura 38 - Reunião dia 03/09/2020.

- **Reunião com o Professor Durval Dourado Neto (diretor da ESALQ) e equipe de pesquisa da ESALQ**

  Data: 14/09/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com pesquisadores do Escola Superior Luíz de Queiroz, dentre eles Durval Dourado Neto (Diretor Esalq), Marcela Almeida, Pedro Coutinho, Rodrigo Maulle, membros da AIBA: Alessandra (Aiba), Pesquisadores e estagiários da UFV e UFRJ: Aziz Galvão, Everardo, Marcus Heil Costa, Gerson, Eduardo, Kelton, Taiane, Renato Oliveira, Maria Clara, Ingrid. Apresentação dos trabalhos de pesquisas da ESALQ em âmbito nacional na área de recursos hídricos e metodologia de trabalho própria. Discussão sobre metodologias de trabalho entre as equipes de pesquisadores do Projeto Urucuia e Esalq. Discussão do tema com inclusão de apresentações do programa OBahia, Modelagem Visual Modeflow, Contas Econômicas Ambientais da Água. Discussão dos atuais desafios dos pesquisadores do projeto frente aos resultados obtidos nas pesquisas até o momento com os membros pesquisadores da ESALQ com objetivo de fomentar uma rede de relacionamento entre os pesquisadores, visto que pesquisadores da ESALQ desenvolveram metodologias própria de trabalho. Compartilhamento de dados dos resultados obtidos no projeto URUCUIA com os pesquisadores da ESALQ para apoio na tomada de decisão.

Figura 39 - Reunião dia 14/09/2020.

- **Reunião com o técnico Givanildo da empresa Prosperar sobre ações na Associação Nova Ponta D´Água**

  Data: 15/10/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com o técnico Givanildo da empresa Prosperar para discutir a proposta de desenvolvimento da agricultura irrigada (projeto pivô compartilhado) junto a produtores familiares da Associação Nova Ponta D´Água. Informações obtidas sobre a decisão favorável dos produtores em relação a proposta.

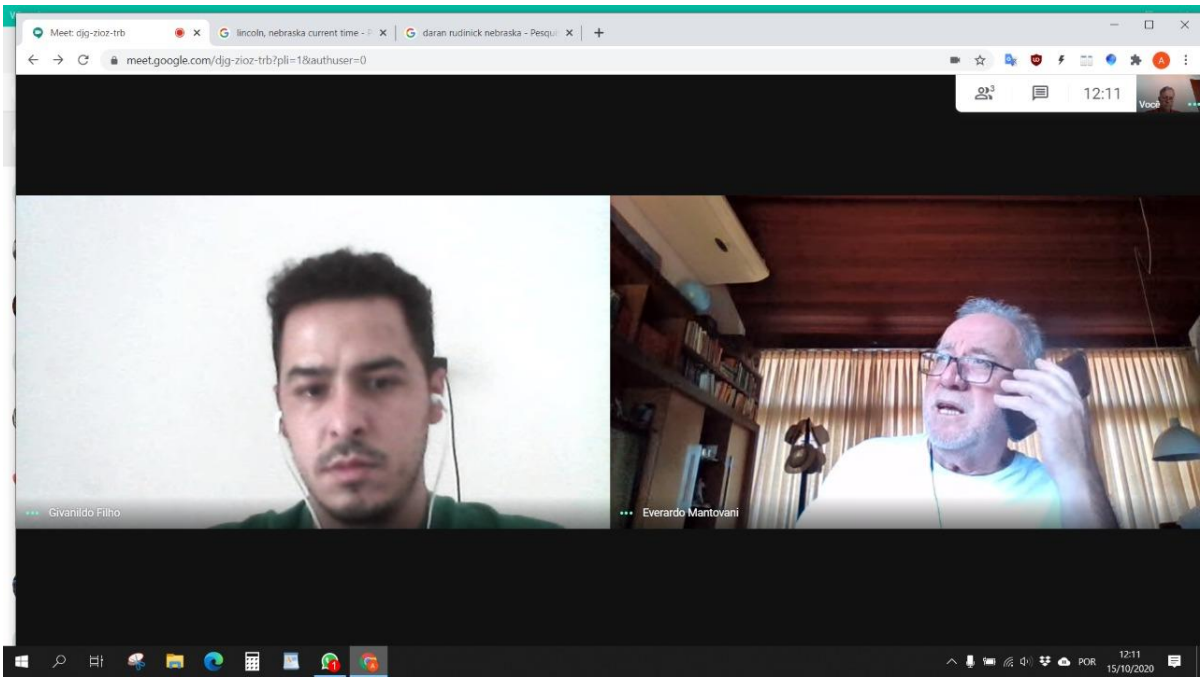

Figura 40 - Reunião dia 15/10/2020.

- **Reunião com as empresas Prosperar e Naandanjain, sobre ações na Associação Nova Ponta D´Água**

  Data: 09/11/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com Diretor da Empresa Naandanjain e Técnico da Empresa Prosperar sobre potencial da agricultura irrigada localizada na agricultura familiar e discussões de ações para implementação de projetos na Associação Nova Ponta D´água. Obtenção de informações técnicas e possibilidades de projetos de irrigação localizada na Associação Nova Ponta D´Água com base em experiência já em andamento de projeto de apoio a agricultura familiar na bacia do Ribeirão Boa Sorte.

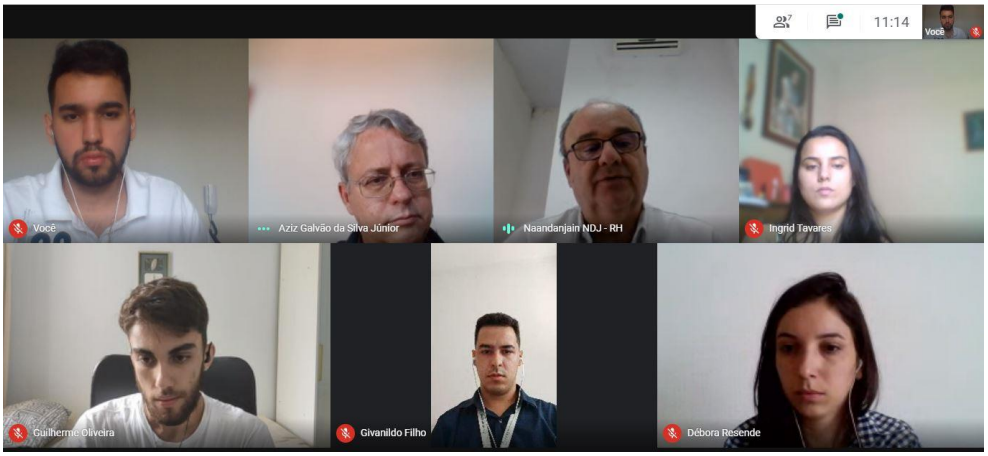

Figura 41 - Reunião dia 09/11/2020.

- **Reunião com o técnico Givanildo da empresa Prosperar e equipe de pesquisa AgroPlus da UFV sobre possíveis atividades em conjunto para benefício da Associação Ponta D' Água**

  Data: 11/01/2021

  Local: Remotamente

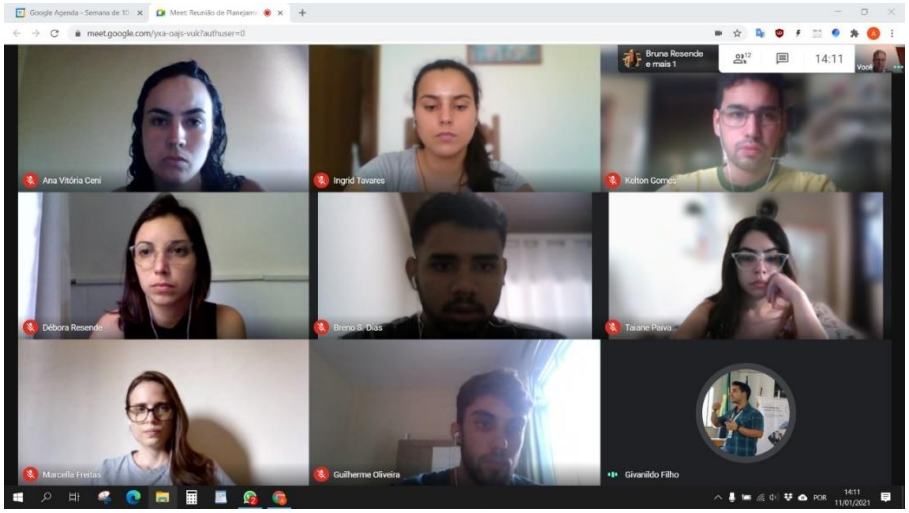

Figura 42 - Reunião dia 11/01/2021.

- **Acompanhamento e apresentação do projeto de recuperação de nascentes e transferência de tecnologias conduzido pela AIBA aos estagiários da UFV**

  Data: 19/01/2021

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Visita do estagiário Kelton Gomes a Região do Cinturão verde, região do Córrego da Boa Esperança e Associação APROVALE em Barreiras para conhecer o projeto de recuperação de nascentes e algumas barragens construídas. Acompanhamento do projeto de implementação de tecnologias, levando a cultura do milho e a adoção de práticas como o uso de insumos para pequenos produtores. Produtores rurais informados sobre ações do projetos e sobre boas práticas agrícolas e conservação de recursos hídricos por parte dos produtores rurais da região.

Figura 43 - Apresentação dia 09/01/2021.

- **Participação do estagiário Kelton na reunião da Associação nova Ponta D' Água e acompanhamento de assistências técnica a produtores**

  Data: 31/01/2021

  Local: Cotegipe - BA

  Atividades: Participação do estagiário Kelton na reunião da Associação nova Ponta D' Água em Cotegipe para articulação com os produtores o projeto de instalação de um pivô compartilhado na região. Além disso, foi feito um acompanhamento e assistência técnica a alguns produtores associados. Produtores rurais familiares envolvidos em discussão sobre organização e planejamento de ações para concretização do projeto de pivô compartilhado, bem como a discussão dos pontos fortes e as possíveis dificuldades encontradas pelos associados.

Figura 44 - Reunião dia 31/01/2021.

- **Participação do estagiário Kelton em uma reunião com o secretário de agricultura de Cotegipe-BA**

  Data: 03/02/2021

  Local: Cotegipe - BA

  Atividades: Participação do estagiário Kelton em uma reunião entre o técnico Givanildo da empresa Prosperar com o secretário de agricultura de Cotegipe-BA, Marcos. Discussão e definição de ações em conjunto da prefeitura municipal de Cotegipe-BA para benefício da associação Nova Ponta D' Água para escoamento de produção e auxílio na condução da agricultura irrigada.

Figura 45 - Reunião dia 03/02/2021.

5.2.4 Discussão e Proposição de um Modelo de Governança e Monitoramento

A proposição de um modelo de governança e monitoramento, tendo como referência o arcabouço legal e institucional nos níveis federal e estadual, levou em consideração os resultados da avaliação do sistema de governança, a análise dos envolvidos e o envolvimento dos participantes.

A seguir são apresentadas as reuniões que tiveram como foco principal a discussão de propostas de alteração em regulamentos e elaboração e proposição de um modelo de monitoramento.

- **Reunião entre equipe de Coordenadores do Projeto, Diretores da AIBA e Representante do INEMA**

  Data: 26/11/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião entre equipe de Coordenadores do Projeto e Diretores da AIBA, com Dirigentes e Técnicos do Governo da Bahia (SEAGRI, SEMA e SIHS) sobre proposta de alteração da norma de outorga de água subterrâneas. A reunião contou com a presença do Presidente da AIBA, Celestino Zanella, do Secretário da SEAGRI, Lucas Costa. Proposta de revisão da norma de outorga de águas subterrâneas apresentada e discutida. Cronograma de reuniões entre a equipe do projeto e técnicos do Governo da Bahia (SEAGRI, SEMA e SIHS) para detalhamento e adequação da proposta de revisão da norma.

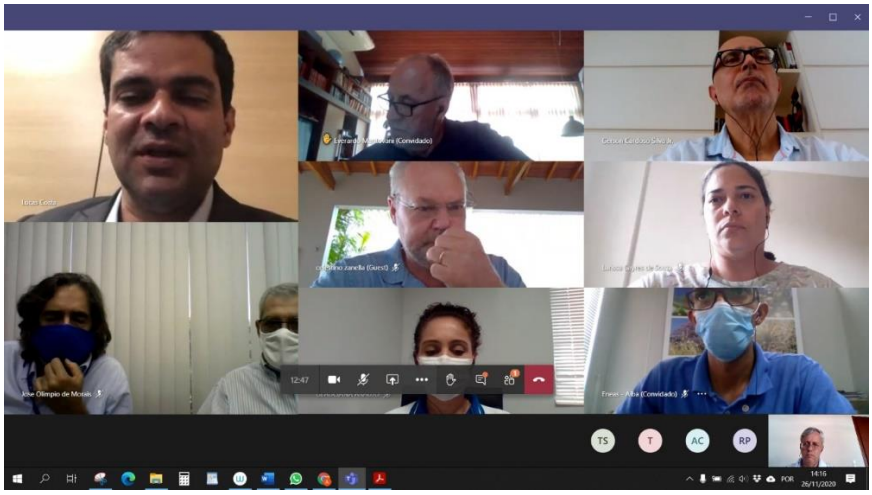

Figura 46 - Reunião dia 26/11/2020.

- **Reunião do Consórcio e Comitê de Bacia do Rio Grande para discutir a questão do enquadramento junto ao INEMA**

  Data: 18/12/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião do Consórcio e Comitê de Bacia do Rio Grande para discutir a questão do enquadramento de água no Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Informações obtidas sobre atividades e acesso ao relatório de resultados de atividades do Plano de Bacia Hidrografica do Rio Grande.

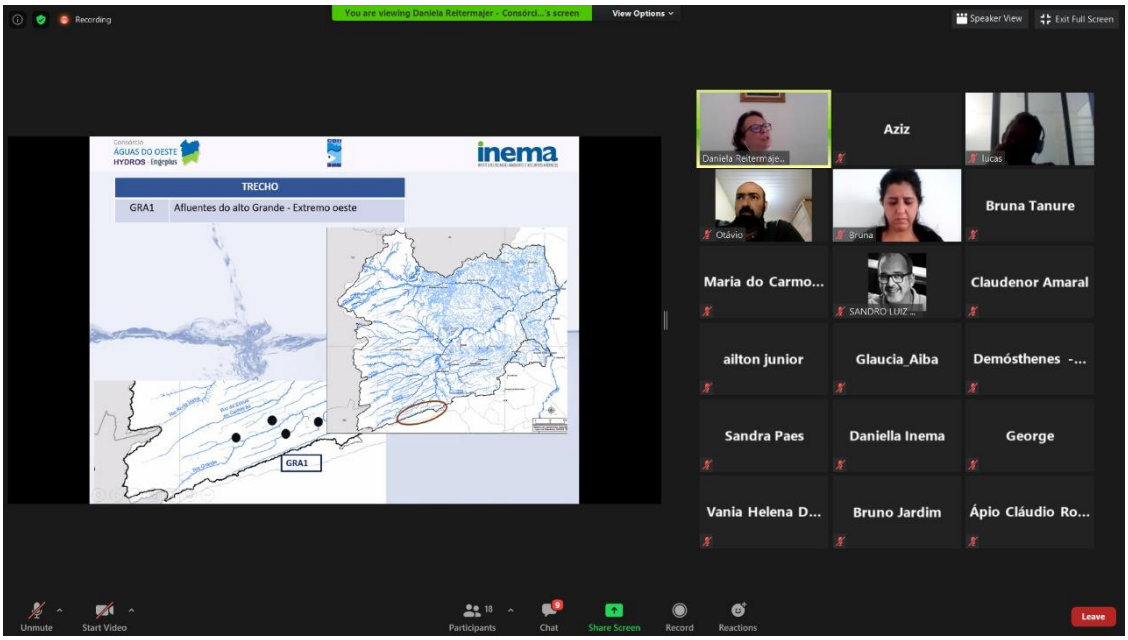

Figura 47 - Reunião dia 18/12/2020.

- **Reunião com a empresa Hydros, sobre o plano de bacia do Rio Grande.**

  Data: 14/12/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reuniões com Diretores e Técnicos do Consórcio Hydros sobre ações e resultados do Projeto e do Plano de Bacia com objetivo de integrar informações do projeto no plano de bacia. Resultados do trabalho compartilhado com dirigentes e técnicos do consórcio responsável pela elaboração dos Planos de Bacia Hidrográficas dos Rios Grande e Corrente.

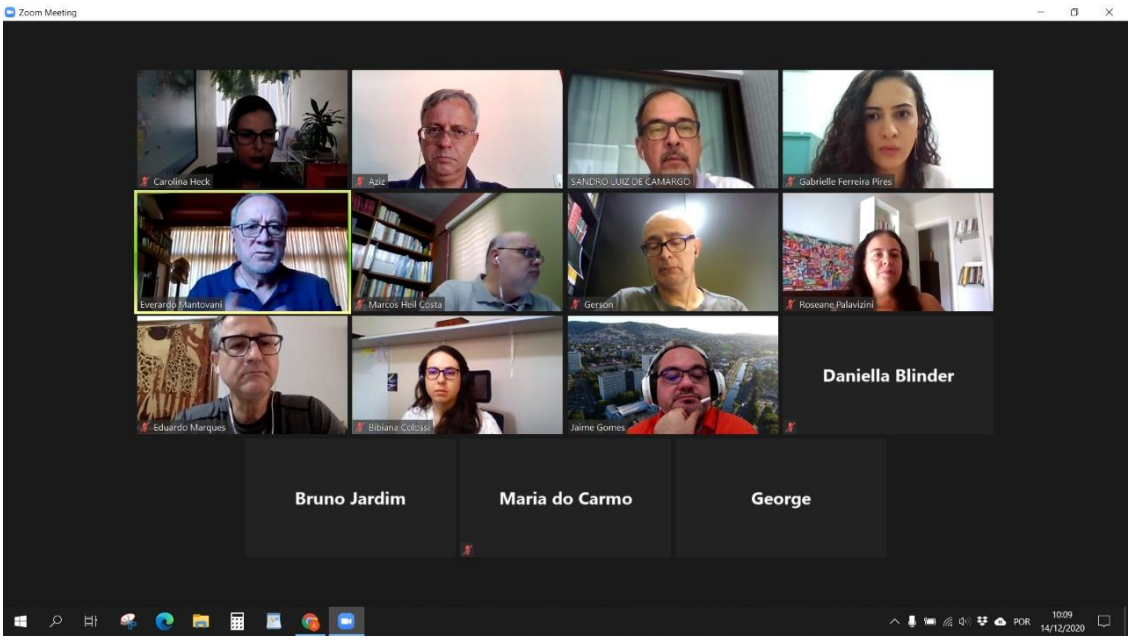

Figura 48 - Reunião dia 14/12/2020.

- **Reunião com INEMA sobre o projeto de monitoramento de bacias do Oeste da Bahia**

  Data: 12/05/2021

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião entre equipe de Coordenadores do Projeto e membros do INEMA para discussão de um projeto de Monitoramento de recursos hídricos em Bacias Hidrográficas da região. Elaboração de uma proposta para monitoramento de bacias hidrográficas em conjunto com o INEMA a ser apresentado para o PRODEAGRO.

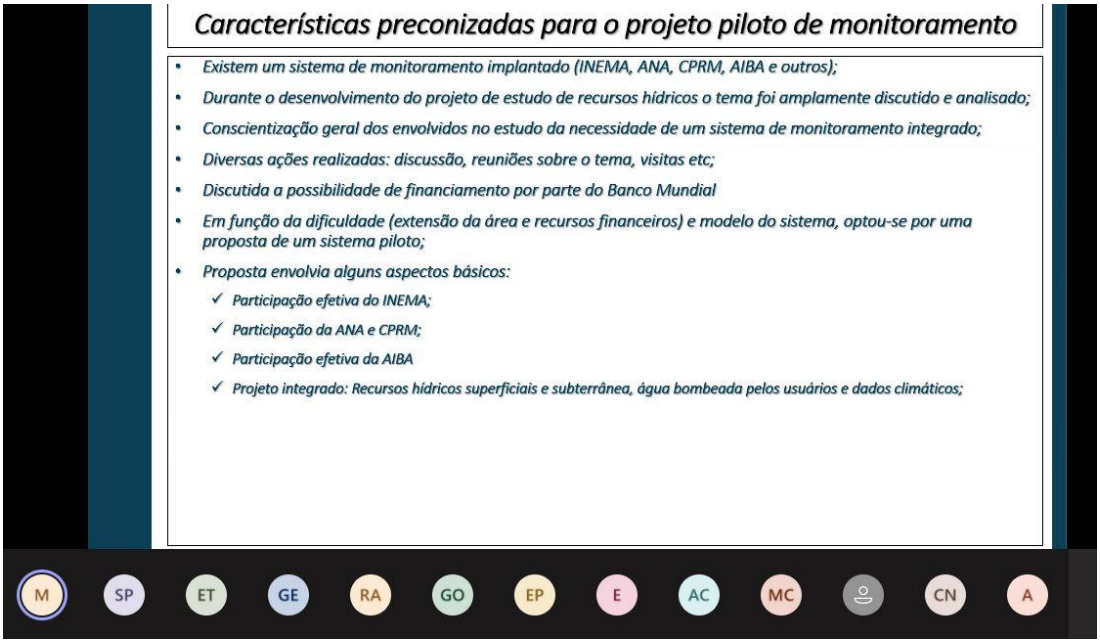

Figura 49 - Reunião dia 12/05/2021.

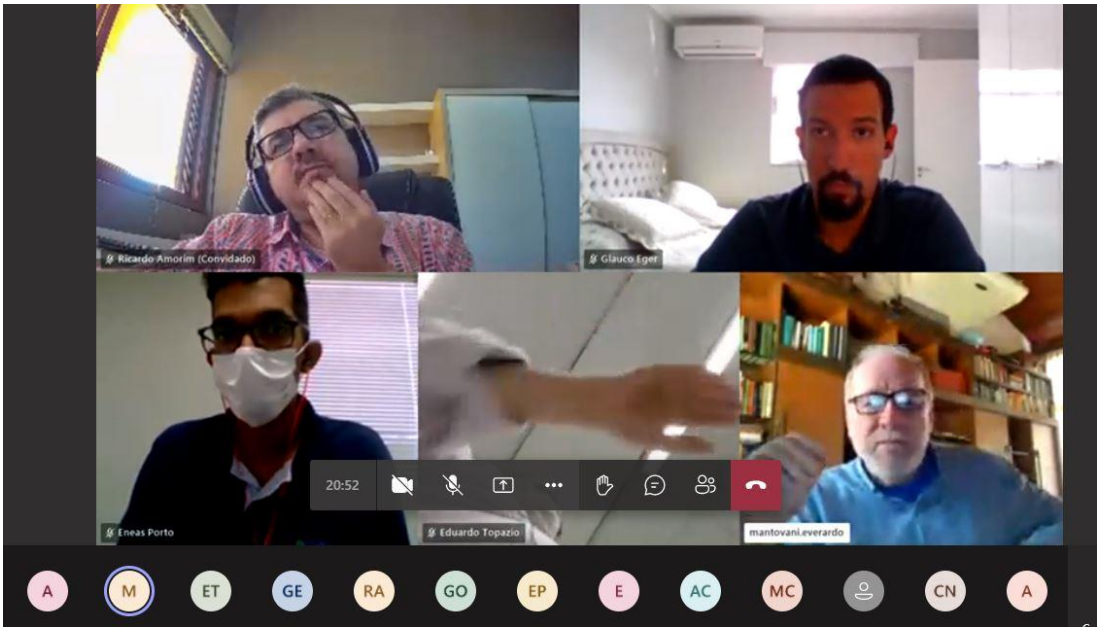

Figura 50 - Reunião dia 12/05/2021.

- **Reunião entre equipe de Coordenadores do Projeto, Diretores da AIBA e Representante da SEAGRI,**

  Data: 04/08/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Definição de estratégia de apresentação do documento referente a distância entre poços tubulares e projeto de monitoramento ao INEMA, SEMA e SEAGRI.

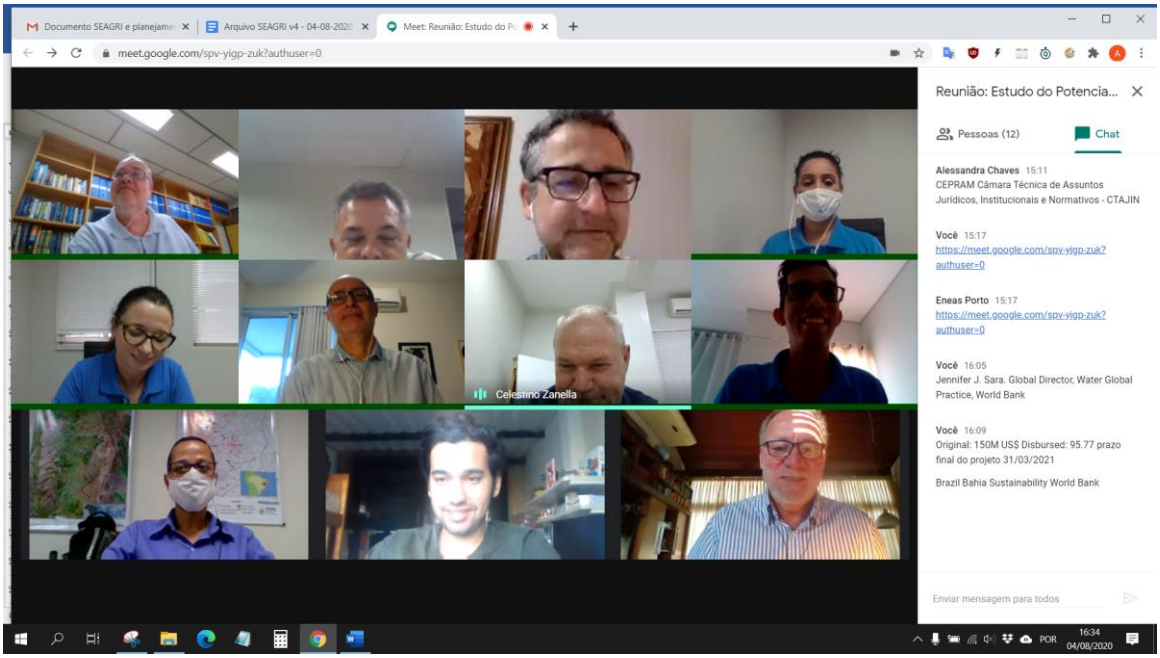

Figura 51 - Reunião dia 04/08/2020.

- **Participação do Prof. Aziz Galvão no workshop sobre medição de água.**

  Data: 03/02/2020

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Participação do Prof. Aziz Galvão nas discussões sobre medidores de vazão durante o Workshop "Medição de Água para a Condução da Atividade Agrossilvipastoril Irrigada". Obtenção de informações sobre modelos de medição de vazão. O seminário permitiu discutir aspectos técnicos essenciais na proposição de modelos de monitoramento.

Figura 52 - Workshop dia 03/02/2020.

- **Reunião com Vice-Governador e Secretários da SDE, SEMA, SEAGRI, SIHS, INEMA e assessores sobre os resultados do Estudo de Recursos Hídricos no Oeste da Bahia**

  Data: 05/02/2020

  Local: Salvador - BA

  Atividades: Reunião com o Vice-Governador e os Secretários de Meio Ambiente, Agricultura, Infraestrutura Hídrica, Desenvolvimento Econômico e Ciência e Tecnologia do Governo da Bahia para discussão de modelos de monitoramento. Discussão de modelos de monitoramento e sensibilização da Administração Estadual sobre a importância do tema. Também foram discutidos aspectos relacionados a outorgas, em especial, a questão da distância entre poços. Os resultados destas discussões serão sistematizados e apresentados na próxima etapa do projeto.

Figura 53 - Reunião dia 05/02/2020.

- **Reunião no Ministério Público**

  Data: 05/02/2020:

  Local: Salvador - BA

  Atividades: Reunião no Ministério Público, com a presença do Vice-Governador do Estado da Bahia, Sr. para apresentar resultados e discutir modelos de governança e interação entre equipe do projeto e Ministério Público. Discussão de questões relacionadas a modelos de governança e agendamento de reunião entre equipe do projeto e técnicos do Ministérios Público para apresentação de resultados do trabalho e discussão de questões relacionadas a governança dos recursos hídricos. O Ministério Público é uma instituição chave na estrutura legal no sistema de Governança dos Recursos Hídricos no Brasil.

Figura 54: Reunião dia 05/02/2020

- **Reunião na CETREL para discussão de gestão de sistemas de monitoramento de recursos hídricos**

  Data: 06/02/2020

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Reunião com Diretores e técnicos da CETREL para discutir sistemas de monitoramento de recursos hídricos. A reunião contou com a presença do Diretor Demósthenes Carvalho e dos técnicos Jordon Werlang, Eduardo Fontoura e Sérgio Almeida, além de coordenadores do projeto e diretoria de Meia Ambiente e Irrigação da AIBA. Criação de canal de comunicação com a CETREL e obtenção de informações e modelos para a elaboração de sistema de monitoramento e governança. Mesmo considerando a localização e características específicas do Pólo Petroquímico de Camaçari, aonde a CETREL atua, o intercâmbio de informações técnica e experiências de negociação (proposição de modelos de governança) com órgãos de regulação e fiscalização é de grande importância para a proposição de ações em um modelo de governança.

Figura 55: Reunião dia 06/02/2020.

- **Participação de reunião entre a empresa Kalliandra e a AIBA de apresentação de discussão de sistemas de telemetria em estações fluviométricas e poços com medidores**

  Data: 27/02/2020

  Local: Barreiras, BA

  Atividades: Obtenção de dados e informações sobre a viabilidade técnica de implantação de sistemas de telemetria a serem incorporados no sistema de monitoramento. A empresa Kalliandra atua na região e tem experiência em sistemas de telemetria, aspecto chave no desenho e proposição de modelos de monitoramento.

- **Reunião por Skype com Sandro, representante da empresa Hydros e os professores Everardo, Aziz, Eduardo, Marcos e Gerson**

  Data: 28/02/2020

  Local: Viçosa - MG

  Atividades: Discussão sobre uma parceria para avaliações dos trabalhos desenvolvidos pelos dois grupos de trabalho.

Figura 56 - Reunião dia 28/02/2020.

- **Visita a campo para verificação de sistema de medição de fluxo**

  Local: São Desidério – BA

  Data: 11/03/2020

  Atividades: obtenção de informações sobre o gerenciamento de sistema de medição de fluxo em uma fazenda produtora de soja. A visita, permitiu obter informações sobre dificuldades e desafios na implantação de modelos de monitoramento. Os resultados descritos nos itens a) a g) servirão de base para a proposição de um modelo de governança e monitoramento para a gestão sustentável e participativa dos recursos hídricos no oeste da Bahia a ser realizada na próxima etapa do projeto.

Figura 57 - Visita a campo dia 11/03/2020.

- **Reunião com o Produtor Rural e membro da diretoria da AIBA, Moises Schmidt para avaliação e discussão sobre a atuação do comitê e seus representantes**

  Data: 21/10/2020

  Local: Remotamente

  Atividades: Reunião com Moises Schmidt, Produtor Rural e membro da diretoria da AIBA, para avaliação e discussão sobre a atuação do comitê e seus representantes. Obtenção de informações sobre o funcionamento e atuação do comitê de Bacia Hidrográfica. Ações para expansão da irrigação para expansão e melhoria da agricultura familiar irrigadas, em especial nos perímetros irrigados existentes.

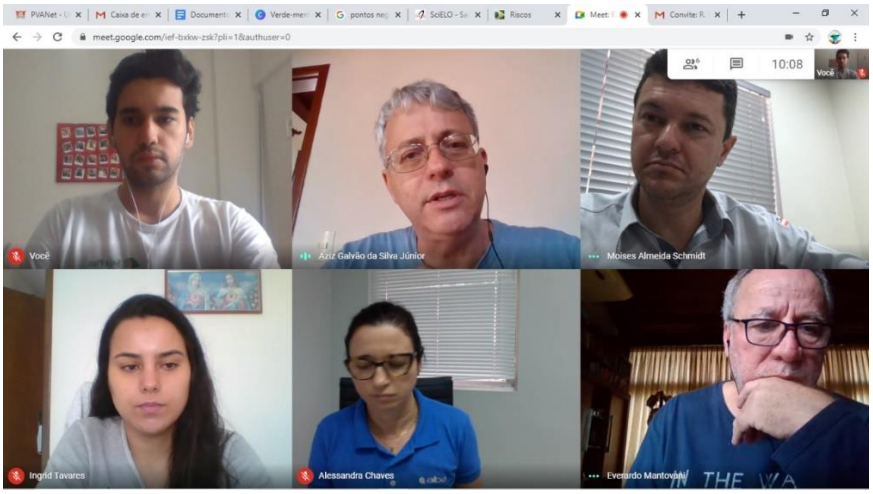

Figura 58 - Reunião dia 21/10/2020.

- **Participação do professor Everardo em reunião com Secretário de Meio Ambiente da Bahia, Secretário de Meio Ambiente de Barreiras, membros da AIBA e produtores rurais associados.**

  Data: 04/11/2020

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Participação do professor Everardo em reunião com Secretário de Meio Ambiente de Barreiras, membros da AIBA e produtores rurais associados. Apresentação de palestra on line no dia 11/11/2020 dos principais resultados do estudo dos recursos hídricos no Oeste da Bahia, detalhando alguns destaques e implicações. Participantes: Secretário João Carlos Oliveira da Silva (SEMA),Celestino Zanella, Odacil Ranzi, Moisés Almeida Schmidt, Helio Hopp, Alessandra Chaves (AIBA), Helmuth Kieckhöfer (IAIBA), Saul (Inema), Produtores rurais, Consultores técnicos e Equipe técnica da Aiba.

Figura 59 - Reunião dia 04/11/2020.

- **II Workshop de Irrigação do Oeste da Bahia**

  Data: 19/05/2021

  Local: Remotamente

  Atividades: Participação dos Coordenadores no II Workshop de Irrigação do Oeste da Bahia, realizado dia 19/05/2021. O evento teve como tema: Tecnologias de medidas de recursos hídricos e transmissão das informações. Estiveram presentes representantes do INEMA, AIBA, UFV, UFRJ, Universidade do Nebraska - Instituto Water For Food e as empresas: - Metos, - Bermad, HydroControl, New Vision, Studio1. As empresas AgSolve e OnSet, não puderam participar, mas enviaram material. Obtenção de Informações sobre sistemas e equipamentos para medição de vazão de rios, profundidade de aquífero, vazão de bombeamento pelos usuários e dados climáticos. Apresentação de um sistema online para captura e gestão de informações hidrológicas e climáticas. Com base nas avaliações dos resultados de todos os grupos envolvidos no trabalho, forma encaminhadas ao Exmo. Governador da Bahia, Senhor Rui Costa e a Diretoria da SEMA duas comunicações com propostas de alterações em Instruções Normativas e outras sugestões.

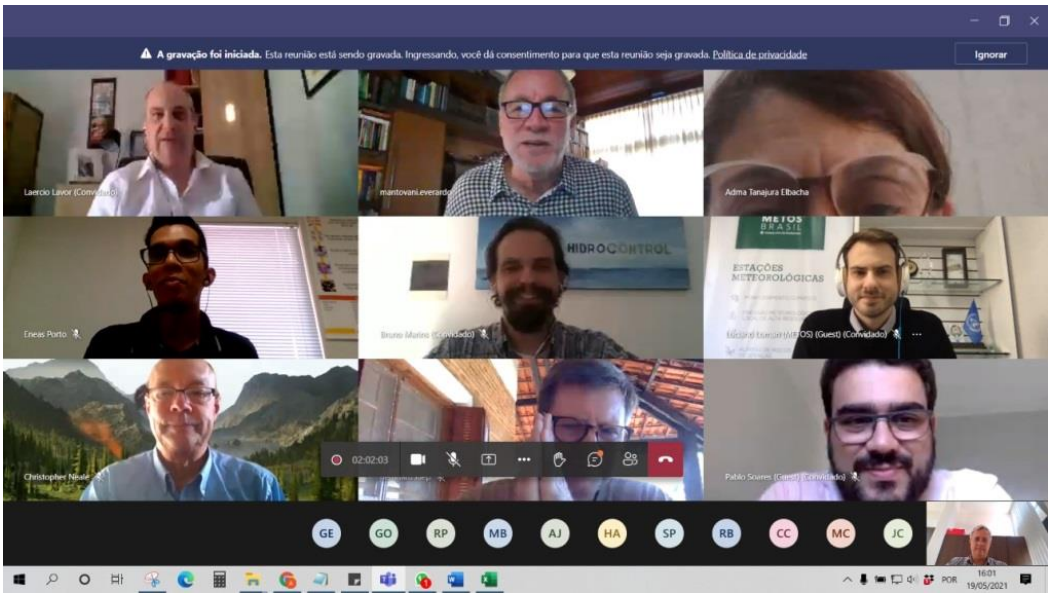

Figura 60 - Reunião dia 19/05/2021.

5.2.5 Análise Econômica

Otimização de indicadores econômicos da agricultura irrigada e de sequeiro no oeste da Bahia usando programação linear e previsão hidroclimática.

No âmbito do projeto "Segurança Hídrica, Alimentar e Energética no Oeste da Bahia" foi desenvolvida uma tese de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa. O trabalho foi divido em duas partes: i) modelo de programação linear para otimização da atividade agrícola para regiões selecionadas no Oeste da Bahia considerando o modelo de previsão hidroclimática e ii) indicadores e possíveis ganhos econômicos da adoção do sistema de previsão do início da estação chuvosa na região. Na primeira parte, a aplicação do modelo de programação linear em diferentes níveis de uso de água demonstrou que o modelo pode fornecer informações para otimizar a atividade agrícola na região, especialmente em cenários de atraso ou redução de chuvas, além de poder guiar ações de governança dos recursos hídricos. A segunda parte do trabalho foram calculados indicadores econômicos da atividade agrícola para o Oeste da Bahia, sendo demonstrado que a equivalência de um hectare irrigado se dá em média em 3.90 hectares de sequeiro e que a adoção do modelo de previsão de início da estação chuvosa pode gerar incrementos de até 30% na geração de receita da atividade agrícola.

O uso racional dos recursos hídricos depende diretamente da disponibilidade de informações. Principalmente em uma região de grande desenvolvimento da agricultura irrigada, como o Oeste da Bahia, a tomada de decisões relacionadas à gestão dos recursos hídricos deve ser feita para evitar conflitos pelo uso da água. Integrando informações fornecidas por outros estudos, a pesquisa aplica o método de programação linear para otimizar a atividade agrícola em áreas irrigadas e de sequeiro. Estudos de caso foram desenvolvidos para cinco fazendas e três municípios do Oeste da Bahia, simulando o atraso das chuvas e as condições de redução. Os resultados mostram que o modelo de programação linear pode fornecer informações para otimizar a atividade agrícola, recomendando safras, datas de semeadura e intervalos de ciclo, prevendo perdas na colheita e otimizando a alocação de recursos. Fica evidente que nas áreas irrigadas a variação dos cenários de chuvas tem menor impacto na atividade agrícola,

possibilitando o sistema de dupla safra e até mesmo o contínuo. A aplicação do modelo em diferentes níveis de governança da água mostra que ele tem boa aplicabilidade como ferramenta para a gestão da água na agricultura e para orientar as ações de governança. A figura a seguir apresentam os resultados para uma das cinco fazendas selecionadas:

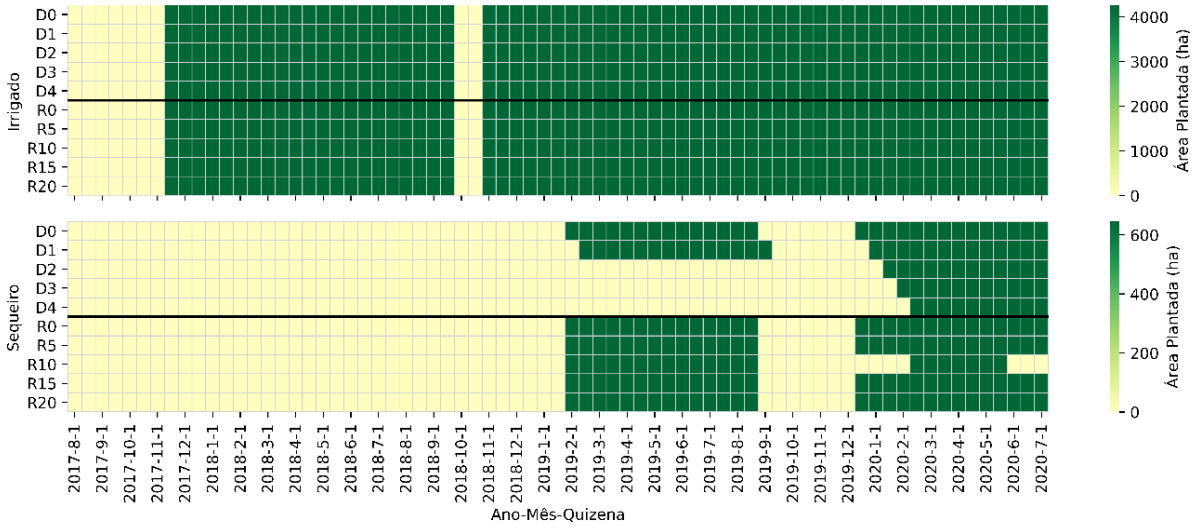

Figura 61 - Área plantada em ha recomendada pelo modelo sob irrigação e sequeira para uma fazenda selecionada.

A agricultura irrigada é um fator chave para a economia do Oeste baiano, com potencial para impactar 30% do valor da produção agrícola. A segunda parte do trabalho de tese teve como objetivo analisar os resultados da agricultura irrigada considerando a produtividade da cultura, produtividade da água, lucro bruto da atividade agrícola e rentabilidade da água, bem como comparar os possíveis ganhos com a adoção de informações do modelo de previsão hidroclimática. Os resultados mostram que um hectare de área de cultivo irrigado é equivalente a 3,90 hectares de área de cultivo de sequeiro em média. A adoção do sistema de previsão para o início das chuvas pode aumentar em até 30% a geração de receita das áreas agrícolas. Na figura a seguir, os resultados são detalhados considerando os cultivos de algodão, feijão, milho e soja nos municípios de Barreiras, Correntiva e Luis Eduardo Magalhães entre 2012 e 2020.

O rendimento das culturas em áreas de sequeiro pode ser semelhante ao rendimento em áreas irrigadas quando as condições de chuva são adequadas. Os rendimentos potenciais máximos são semelhantes em áreas irrigadas e irrigadas para todas as culturas e todos os municípios em 2012 e 2020.

Em anos mais secos como 2016, as perdas de colheita em áreas de sequeiro foram mais evidentes do que em condições irrigadas. Por outro lado, esta perda de rendimento é observada continuamente em Correntina entre 2016 e 2019 para todas as safras.

Por fim, as perdas de safra podem ser significativas em todos os anos avaliados para feijão e algodão, principalmente quando essas safras são cultivadas como segunda safra em sistemas de dupla safra.

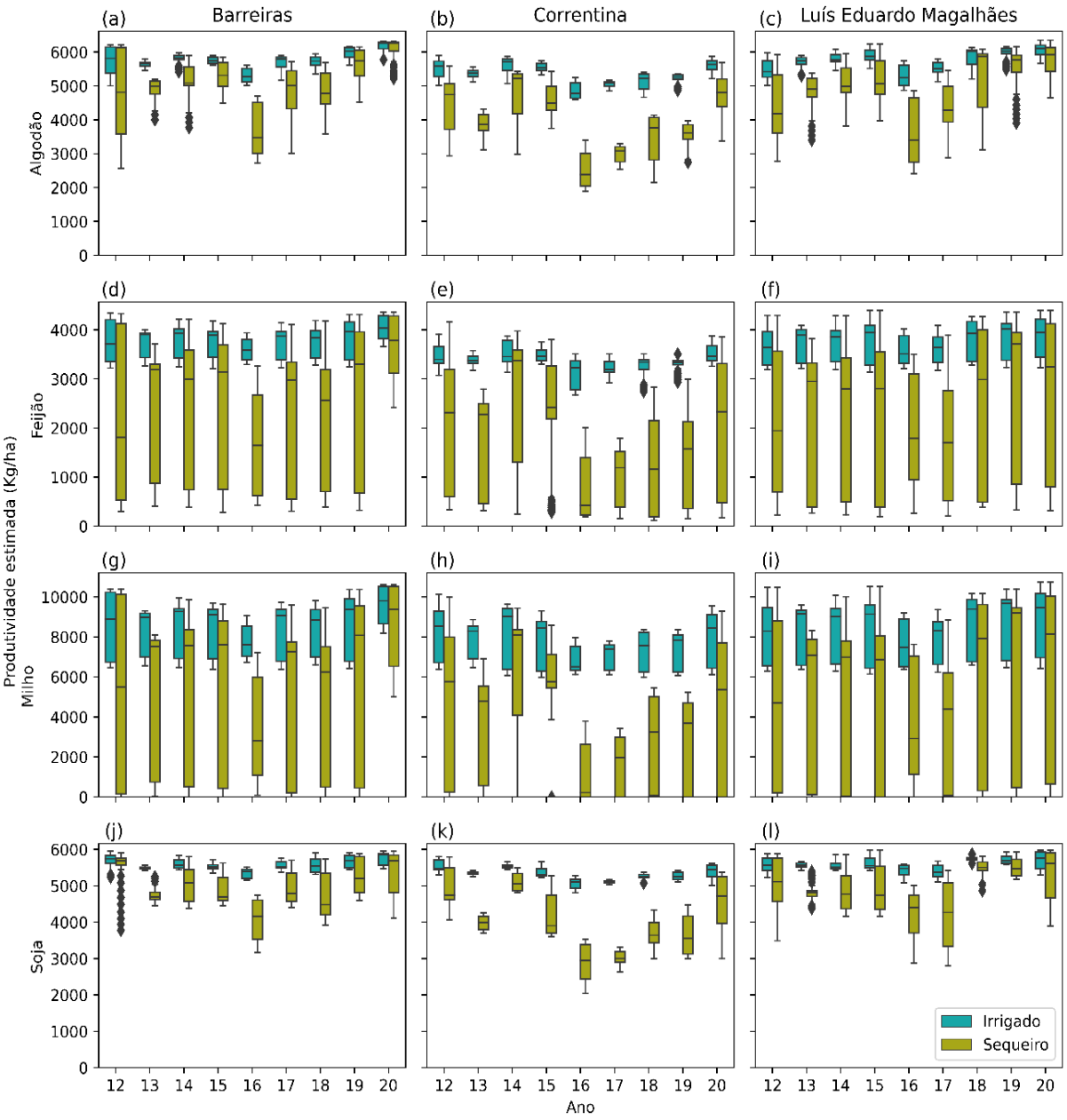

Figura 62 - Distribuição estimada da produtividade de algodão, feijão, milho e soja entre 2012 e 2020 nos municípios de Barreiras, Correntina e Luis Eduardo Magalhães.

BONINSENHA, Ígor. **Optimization of economic indicators of rainfed and irrigated agriculture in western Bahia using linear programming and hydroclimatic forecast**. 2021. 77 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/28204>.

5.2.6 Articulação e Envolvimento para Implantação de um Sistema de Monitoramento

- **Reuniões Everardo no Instituto Water for Food. Nebraska**

  Data:

  Local: Nebraska - USA

  Atividades: Reunião com representantes da Universidade do Nebraska, Serviço Geológico Brasileiro e do INEMA para discutir projeto de monitoramento dos recursos hídricos no Oeste da Bahia

- **Participação lançamento do Polo de Irrigação do Oeste da Bahia**

  Data:

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Participação do Prof. Everardo Mantovani no lançamento do Polo de Irrigação do Oeste da Bahia organizado pelo MDR.

- **Reunião Sema Salvador**

  Data: 05/02/2020

  Local: Salvador - BA

  Atividades: reunião com o Vice-Governador e os Secretários de Meio Ambiente, Agricultura, Infraestrutura Hídrica, Desenvolvimento Econômico e Ciência e Tecnologia do Governo da Bahia para discussão de modelos de monitoramento. Discussão sobre modelos de monitoramento (estações, sistemas de medição, telemetria) e envolvimento de técnicos, dirigentes da SEMA e INEMA, Secretário de Estado e Vice-Governador.

Figura 63 - Reunião dia 05/02/2020.

5.2.7 Capacitação em Recursos Humanos

As ações de capacitação em recursos hídricos e irrigação pretendem contribuir para o uso sustentável deste recurso na região oeste da Bahia. Em função da pandemia, foram utilizadas metodologias de Ensino a Distância.

PROGRAMAÇÃO

	ATIVIDADE	Responsáve	Público	Vagas	Horário	duração	JULHO 12/07	19/07	26/07	AGOSTO 02/08	09/08	16/08	_/SETEMBRO 23/08	30/08	06/09	13/09	20/09	_/OUTUBRO 27/09	04/10	11/10	18/10	25/10	NOVEMBRO 01/11	08/11	15/11	22/11
	TREINAMENTO (presencial / online)																									
	GOVERNANÇA																									
1	Planejamento Econômico baseado Previsão Hidroclimá	AZ, EV, IG	Gerentes Fazenda	10	19:00	02:00								3/9												
2	Governança de Recursos Hídricos:	AZ, EV	BA, Comitê Bacias, Acadêmic	10	14:00	02:00										16/9										
3	**Potencial da Irrigação na Agricultura Familiar:**	AG, EV, GV	SDR, CAR, Associações, Univ	30	14:00	02:00					12/08															
4	**Eficiência de irrigação**	EV, IG	DB, FASB, UNEB, UNIFAAHF	30	16:00	02:00																				
	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS																									
5	Treinamento Modflow. Nível 1 (Introdução)	GE, ED, GL	INEMA, AIBA	10	13:30	20:00		19-23																		
6	Treinamento Modflow. Nível 2 (aprofundamento)	GE, ED, GL	INEMA, AIBA	10	13:30	08:00							26-27/08													
	OBAHIA																									
7	Apresentação Comitê Grande	EV, AZ, MA	Comitê de Bacias: Grande,		08:30	02:00								31/08											19/11	
	Apresentação Comitê Corrente	EV, AZ, MA	Comitê de Bacias: Corrente		08:30	02:00								01/09											19/11	
	Apresentação Comitê São Francisco													02/09												
	CONERH																									
	Apresentação no CONERH	EV, ?????	CONERH			00:30							??				??									
	WEBINAR																									
8	Resultado Geral do Projeto	AZ, MA, ED,	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30																26/10				
9	Uso do solo e aptidão agrícola	MA, FE	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30							24/08													
11	Uso da água e estresse hídrico	MA, AB	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30								31/08												
13	Uso da terra, manejo agrícola e carbono no solo	GA, EM	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30									feriado	14/09										
14	Previsão de início da estação chuvosa e vazões mínima	MA, LF, RP	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30											21/09									
16	Monitoramento: importância, metodologia, resultados	GE, ED	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30													5/10							
18	Recarga subterrânea: conceito uso, reservas permanen	GE, ED	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30												26/10								
20	Qualidade da água: importância, situação atual e futura	GE, ED	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30														13/10						
22	Urucuia: águas subterrâneas	GE, NI	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30	já realizado (abril)																			
24	Governança Água e Irrigação: Nebraska - Oeste Bahia	AZ, CH	Acadêmicos, Técnicos e Pro		16:00	01:30															19/10					
26	Governança Rec. Hídricos, Irrigação e Obahia (divulgaç	AZ	Acadêmicos		16:00	01:30						???														
20	Integração de Informações OBahia e Geobahia	MA + SEMA				01:30				??																

Figura 64 - Programção das Capacitações.

CURSOS

- Modflow 1
- Modflow 2
- Irrigação na Agricultura Famililar

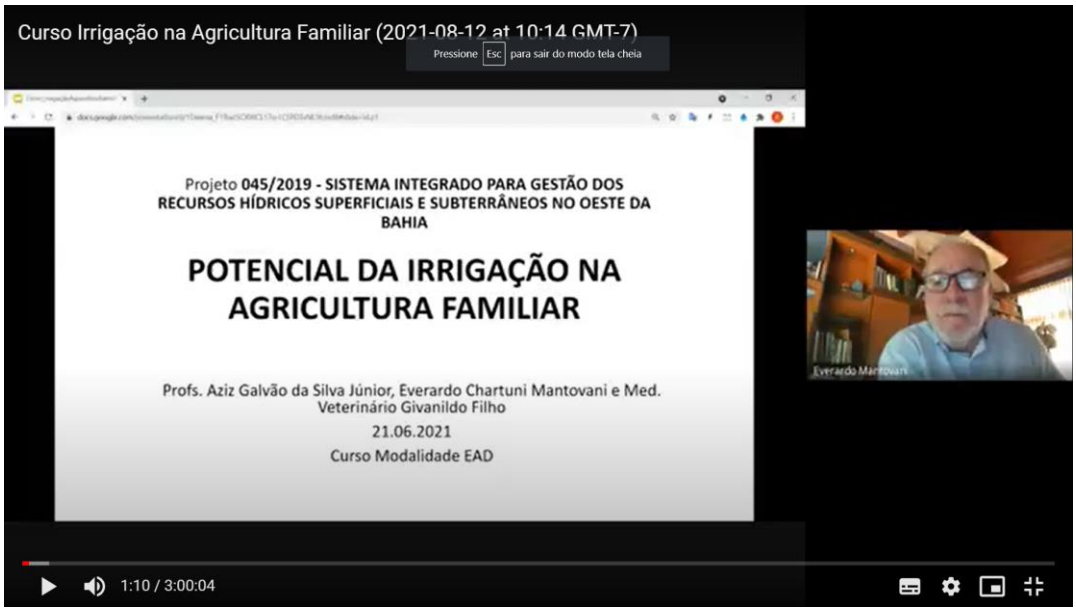

Figura 65 - Curso ministrado pelo Prof. Everardo.

SÉRIE DE WEBINARS

Figura 66 - Anúncio Webinar.

Figura 67 - Webinar ministrado.

- **Palestras dos Professores Everardo Mantovani e Marcos Heil no Seminário SojaPlus**
  Local: Viçosa – MG
  Data: 28/11/2019
  Atividades: Palestra sobre projeto para participantes do Seminário Soja Plus.

Figura 68 - Palestra no Seminário Soja Plus.

Figura 69 - Palestra no Seminário Soja Plus.

- **Curso sobre Manejo da Irrigação na Escola Técnica. CETEP**

  Data:

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Curso ministrado pelo Eng. Agrônomo Igor Boninsenha para estudantes e professores do Centro Territorial de Educação Profissional do Oeste Baiano (CETEP)

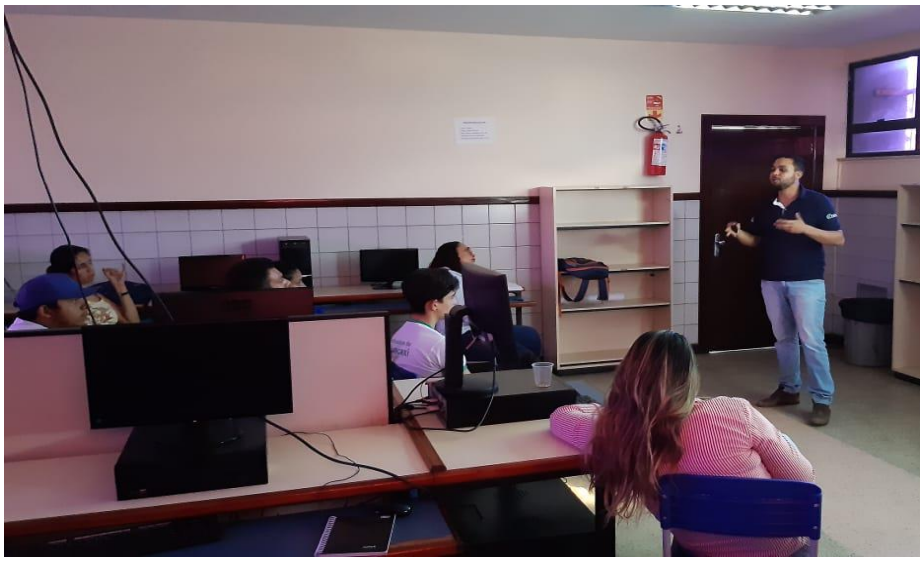

Figura 70 - Minicurso ministrado.

- **Curso sobre Manejo Simplificada da Irrigação para Produtores Rurais. APROVALE**

  Data:

  Local: Barreiras - BA

  Atividades: Curso ministrado pelo Eng. Agrônomo Igor Boninsenha para produtores rurais do entorno da APA do Rio de Janeiro.

ANEXO 1. Notas contas econômicas e ambientais da água

Para a tabela de ativos (estoques) uma série de estimativas precisou ser realizada visando o preenchimento da tabela, tendo em vista a insuficiência de dados hidrológicos consistentes, isso comprometeu o nível de confiabilidade do modelo como um todo.

Além disso, para os cálculos de dados estimados foram utilizados dados base de diferentes anos o que também compromete a eficiência da metodologia, tendo em vista que é recomendável padronizar o ano base que será trabalhado nas Contas Econômicas e Ambientais da Água. Tal padronização não foi possível devido a escassez de dados hidrológicos para a área de estudo.

Quadro 5 - Tabela de Ativos.

	Água Superficial			Água Subterrânea	Água no Solo	TOTAL
	Reservatórios Artificiais	Lagos	Rios			
1. Estoques Iniciais	18,2	3,2	150,50	253.000,00	1,2	**253.173,10**
Aumentos nos Estoques						
2. Retornos					0,00	**0,00**
3. Precipitação	9,02	1,59	29,85		74.377,00	**74.417,46**
4. Entradas			14.884,04	15.067,76	0,00	**29.951,80**
4.a. De territórios à montante	-	-				**0,00**
4.b. De outros recursos no território			14.884,04	15.067,76	0,00	**29.951,80**
Diminuição nos Estoques						
5. Captação			3.041,33	183,72	10.387,39	**13.612,44**
6. Evaporação / Evapotranspiração	8,21	1,45	27,18		67.725,00	**67.761,84**
7. Saídas			11.788,86	14.884,04		**26.672,90**
7.a. Para territórios à jusante			8.420,89			**8.420,89**
7.c. Para outros recursos no território	-	-	3.367,97	14.884,04		**18.252,01**
8. Outras alterações no volume						**0,00**
9. Estoques Finais	**19,01**	**3,34**	**207,02**	**253.000,00**	**-3.734,19**	**249.495,18**

AUMENTO NOS ESTOQUES

Os dados de estoques iniciais dos reservatórios artificiais e lagos foram estimados segundo informações da *Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA)*. A AIBA forneceu um mapa dos reservatórios e lagos presentes no Oeste da Bahia. Por geoprocessamento selecionou-se apenas aqueles presentes na região da bacia do Rio Grande. Segundo relatos da AIBA, 85% dos reservatórios mapeados poderiam ser considerados como reservatórios artificiais e 15% como lagos, adotou-se então uma profundidade média de 2 m para ambos e procedeu-se ao cálculo do volume do estoque inicial, obtendo-se, 18,2 milhões de m³ para reservatórios artificiais e 3,2 milhões de m³ para lagos.

O estoque dos rios também foi estimado utilizando uma estimativa da AIBA, considerando-se a profundidade média do Rio Grande como 5m, a largura média e comprimento dos rios foram estimadas com base em imagens do Google Earth, em seguida prosseguiu-se para o cálculo de volume (150,50 milhões de m³).

O estoque inicial do aqüífero foi retirado do Relatório Diagnóstico do Sistema Aquífero Urucuia (Volume 10), produzido pelo CPRM – Serviço Geológico do Brasil. O volume considerado foi o de reservas explotáveis, ou seja, a reserva reguladora somada a 10% da reserva permanente (Página 31 do relatório), proporcionalmente a área ocupada pela bacia do Rio Grande em relação a área total do sistema aqüífero, desse modo, obteve-se 253.000 milhões de m³.

O valor de água no solo foi estimado segundo informações cedidas pelo professor Everardo Mantovani, obtendo-se 1,2 milhões de m³.

Os valores de precipitação foram obtidos através da estimativa do valor anual médio precipitado entre 2011 e 2019 presentes no Relatório Atualizado do SAU (INEMA) (Página 33). Em seguida, procedeu-se aos cálculos considerando que o total precipitado no ano de 2019 na Bacia do Rio Grande foi de 991,7mm, em seguida, multiplicando-o pelas áreas dos reservatórios artificiais, lagos, rios e água no solo, obtendo-se, respectivamente, 9,02 milhões de m³, 1,59 milhões de m³, 29,85 milhões de m³ e 74377,00 milhões de m³.

Os valores de entrada de água foram obtidos através do gráfico de balanço hídrico presente na página 144 do Relatório Técnico Final do Urucuia 1, possibilitando obter a saída de água subterrânea para recarga de rios (14884,04 milhões m³/ano) e a entrada total de água no aqüífero (diretamente pelos rios e indiretamente por precipitação): 15067,76 milhões m³/ano.

DIMINUIÇÃO NOS ESTOQUES:

Para a evapotranspiração, foram utilizados os dados da Nota Técnica 1 de Caracterização do Meio Físico da RPGA Rio Grande, que apresenta um balanço hídrico climatológico na RPGA do Rio Grande (pág 39). A evapotranspiração real apresentada na nota técnica ao longo do ano é de 903mm, multiplicando esse valor pela área dos reservatórios, obteve-se o volume total evapotranspirado, 9,66 milhões de m³, a partir dele considerou-se que 85% do volume (8,21 milhões de m³) evapotranspirou de reservatórios artificiais e 15% do volume (1,45 milhões de m³) evapotranspirou de lagos, segundo proporção entre lagos e reservatórios presentes na área de estudo fornecida pela AIBA.

Para o volume evapotranspirado dos rios foi utilizada a área calculada anteriormente no estoque inicial, multiplicando-se pelos 903mm (0,903m³/m²) de evaporação anual, obtendo-se 27,18 milhões de m³.

Para captação de águas superficiais, foram utilizados os dados da Nota Técnica 10 de Balanço Hídrico da RPGA Rio Grande, desse modo, foi tirada a média da vazão superficial outorgada todos os meses (pág 20 d), obtendo-se 3041,33 milhões m³.

O valor de captação de água subterrânea foi retirado do balanço hídrico presente no Relatório Técnico Final do Urucuia 1, obtendo-se um valor de 183,72 milhões m³/ano.

Para captação de água no solo, foram consideradas as demandas hídricas das principais culturas presentes na Bacia do Rio Grande, sendo elas: soja, algodão, milho, feijão, café e arroz. Os valores de demanda hídrica dessas culturas foram obtidos através do estudo de Carvalho et. al. (2013). Os valores de área plantada, referentes a 2017, foram obtidos através da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, conforme tabela abaixo.

Quadro 6 - Principais culturas e suas respectivas áreas de cultivo na Bacia do Rio Grande

Cultura	Área (km²)	Área (m²)
Soja	12977.39	12977390000
Algodão	1555.29	1555290000
Milho	1730.28	1730280000
Feijão	540.56	540560000
Café	60.82	60820000
Arroz	5.57	5570000

Quadro 7 - Principais culturas da Bacia do Rio Grandes e suas respectivas demandas hídricas

Cultura	Demanda hídrica(mm)	Volume demandado (m^3)	Volume demandado (milhões m^3)
Soja	650	8435303500	8435.3035
Algodão	575	894291750	894.29175
Milho	465	804580200	804.5802
Feijão	350	189196000	189.196
Café	1000	60820000	60.82
Arroz	575	3202750	3.20275
			10387.3942

Dessa forma, estimou-se o volume demandado pelas culturas como 10387,4 milhões de m^3, volume exposto na tabela como captação de água do solo, considerando-se que tais culturas seriam em regime de sequeiro.

Descontando-se da área total da bacia o valor da área plantada e, em seguida, multiplicando-se pelo valor de evapotranspiração obtém-se o volume de 52491,5 milhões de m^3.

Para saída de água dos rios para territórios à jusante, o cálculo consistiu na utilização da vazão de média longa duração (m^3/s) calculada através do software SisCAH 1.0, com pré-processamento de dados descartando falhas anuais >= 10%, seguida do cálculo do volume anual a partir dos resultados obtidos. Para uso no software, foi escolhida a estação mais perto da foz do Rio Grande no Rio São Francisco, a estação 46902000 (Boqueirão). O volume obtido foi de 8420,89 milhões m^3/ano.

Além disso, através do balanço hídrico retirado do Relatório do Urucuia 1 (pág 140) é possível concluir que 3367,97 milhões m^3/ano saem dos rios para recarregar o aqüífero.

Por fim, também através do balanço hídrico apresentado no Relatório do Urucuia 1 (pág 140) é possível observar que 14884,04 milhões m^3/ano saem do aqüífero Urucuia para recarregar os rios.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, I. A. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agronômico. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/DEMANDA%20HIDRICA.pdf>. Acesso em mai. 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Uso atual das terras: Bacia do Rio Grande. Salvador: SEI, 2019. Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pdf/PDF_RIMAS/VOLUME10_Sistema_Aquifero_Urucuia_BA.pdf>. Acesso em mai. 2021.

Nota Técnica 1 de Caracterização do Meio Físico da RPGA Rio Grande

Nota Técnica 10 de Balanço Hídrico da RPGA Rio Grande

ANEXO 2: Informações para subsidiar convocação de audiência pública na Comissão de Ciência e Tecnologia da Câmara dos Deputados sob a presidência do deputado Félix Mendonça

1. Título do Projeto:

Sistema integrado de inteligência territorial para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Oeste da Bahia.

1.1. Instituições responsáveis:

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

1.2. Equipe Técnica:

- Prof. Everardo Mantovani – Departamento de Engenharia Agrícola – DEA/UFV - Coordenação Geral
- Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior - Departamento de Economia Rural – DER/UFV
- Prof. Marcos Heil Costa – DEA/UFV – Coordenador
- Prof. Eduardo Marques – Departamento de Engenharia Civil – DEC/UFV
- Prof. Gerson Cardoso – UFRJ

2. Justificativa e relevância para a região e a sociedade, a fim de justificar a exposição do projeto numa audiência pública:

A produção de alimentos, fibras e agroenergia para atender o mercado brasileiro e internacional tem sido o grande desafio do agronegócio brasileiro nas últimas décadas e os excelentes resultados tornaram a atividade essencial para o desenvolvimento do país e com grande destaque no cenário mundial.

Este desenvolvimento enfrenta permanentes mudanças, onde a demanda por produtos agrícolas se torna mais exigente em quantidade, qualidade e condições de produção, associadas um período de grandes avanços tecnológicos, logística nem sempre favorável e foco em produção sustentável com fatores ambientais, sociais e econômicos bem estruturados.

Na agricultura tropical os ciclos de produção são definidos pela disponibilidade hídrica, onde o processo de produção está acoplado a ocorrência das chuvas, que nem sempre ocorrem no período adequado e em quantidade necessária. Neste contexto a agricultura irrigada se coloca como uma opção importante para intensificar a produção, diminuir a pressão sobre a abertura de novas áreas e ampliar a produtividade, contudo, é evidente que tudo depende principalmente da disponibilidade hídrica (superficial e subterrânea), além da disponibilidade de energia e capacidade de investimento.

A análise da disponibilidade hídrica de uma região e a sua utilização para a produção de alimentos, fibras e agroenergia exige um debate amplo, com participação da sociedade civil, Instituições de regulação, comunidade acadêmica, empreendedores e interessados de uma maneira geral, uma vez que este assunto é de interesse da coletividade. Ocorre que muitas vezes

o debate tem sido conduzido de maneira emocional, ainda com viés ideológico - "do achismo" - o que não tem trazido nenhuma solução para a efetiva gestão; pelo contrário, tem acentuado conflitos, os quais precisam ser resolvidos.

Apesar de um arcabouço legal robusto e muitos estudos ao longo dos anos, o debate sobre os recursos hídricos, sua gestão, disponibilidade e adequação aos usos múltiplos, ainda é conduzido com grandes lacunas de informações, principalmente técnico-científicas que sejam sistematizadas de maneira ampla e de fácil acesso aos diferentes usuários.

Se por um lado existe a preocupação com a disponibilidade da água, por outro existe a questão básica relacionada à necessidade de produzir alimentos, cada vez em maior quantidade e qualidade. Estudos da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) vinculada a Organização das Nações Unidas (ONU) que é responsável pelas questões de alimentação e a agricultura, procurando liderar esforços para a erradicação da fome e combate à pobreza, indicam a necessidade de aumentar a atual produção de alimentos entre 60 e 70% até 2050. Estes percentuais de crescimento são necessários como forma de atender à demanda crescente da população que irá superar os 9 bilhões de pessoas. Pelas limitadas condições para expansão da área plantada, a FAO estima que 90% deste crescimento deverá vir do aumento da produtividade.

Em todo este debate a agricultura irrigada, embora negligenciada em muitas situações, vem se tornando uma importante estratégia para atingir os objetivos, seja pela intensificação do plantio (contínuo), seja por extrair o maior potencial produtivo das culturas e de seus cultivares, e criar condições para plantio na hora certa (climaticamente e economicamente). Desta forma a agricultura irrigada intensifica a produção, otimizando o uso da terra, os investimentos, a utilização de máquinas, infraestrutura de beneficiamento, a mão de obra e muitas outras, sendo que estas vantagens explicam a forte demanda por seu crescimento e desenvolvimento.

Assim, para o desenvolvimento da agricultura irrigada é necessário o acesso seguro das águas nos mananciais superficiais e subterrâneos, de forma a poder captar, conduzir e distribuir para as plantas. Mesmo que consideremos que menos de 1% da água aplicada seja parte final da produção que é retirada da gleba e que 99% da água volte para atmosfera através da evapotranspiração na sua forma mais pura (totalmente isenta de qualquer poluição), existe a necessidade de utilizar de forma adequada os recursos hídricos, pois como não temos controle sobre onde a água retornará em forma de chuva, podem e ocorrem desequilíbrios.

Como fazer para resolver a questão que se apresenta de forma aparentemente contraditória? Como compatibilizar as diferentes demandas pela água? Como definir processos de uso da água que sejam entendidos por todos os envolvidos no sistema? Sem dúvida, a resposta não é simples mas passa por desenvolver ações que possam obter, organizar e sistematizar as informações científicas relacionadas aos recursos hídricos, desenvolver modelos modernos e eficientes de gestão que permitam distribuição adequada para os diferentes usuários e monitorar os usos e a disponibilidades para gerar ações em tempo real que possam fazer frente a situações de riscos, principalmente devido à variabilidade climática e em especial à quantidade e intensidade das chuvas.

Um exemplo nesta linha de solução foi desenvolvido pelos produtores da região Oeste da Bahia, organizados na Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA), sob coordenação e execução da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e parceiros, sobre a disponibilidade hídrica na região.

A região Oeste da Bahia é uma das mais ativas fronteiras agrícolas do mundo e segue um padrão de extensificação e intensificação. A ocupação da região se iniciou nos anos 1980 com uma expansão da área agrícola (extensificação) da ordem de 440% na área plantada entre 1990 e 2018, totalizando hoje cerca de 2,3 milhões de ha com agricultura. A área irrigada passou

de 17.100 ha em 1990 para 192.000 ha em 2018, correspondendo a 8,3% da área plantada, aumentando a produtividade e o número de safras por ano (intensificação) com valores estimados de geração de renda da ordem de 30% do VBP (valor bruto da produção).

A região tem potencial de aumento da produção agrícola irrigada, tanto na agricultura empresarial quanto na agricultura familiar e de pequena escala, que deve ocorrer em base sustentável, garantindo aos produtores que investem no sistema e à sociedade em geral (pois a água é um bem de domínio público), que este crescimento seja em base segura do ponto de vista da disponibilidade e do uso compartilhado dos recursos hídricos.

Entretanto, a rápida expansão da área irrigada e as secas que assolaram a região nos últimos anos, levaram preocupações com relação à disponibilidade dos recursos hídricos regionais. Neste contexto um convênio de cooperação entre o Programa para o Desenvolvimento da Agropecuária do Estado da Bahia (PRODEAGRO) a Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) foi firmado com o objetivo de realizar pesquisas científicas sobre o potencial hídrico da região Oeste da Bahia criando condições para um debate técnico que possa trazer o desenvolvimento sustentável, econômico social e ambiental.

O projeto Sistema integrado de inteligência territorial para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Oeste da Bahia se juntou ao estudo anterior relacionado ao estudo do potencial hídrico da região Oeste da Bahia que desenvolveu o estudo inicial da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea bem como análise da mudança do uso do solo. Um sistema informatizado para disponibilidade hídrica superficial em base regionalizada para toda a hidrografia da região Oeste da Bahia foi disponibilizado (SIHBA-Oeste).

Para o aquífero Urucuia desenvolveu-se um modelo conceitual e matemático tanto em regime permanente quanto em regime transitório por meio do pacote computacional Visual ModFlow. A utilização de simulações computacionais, ferramenta consagrada em estudos visando a gestão de aquíferos em todo mundo, pode representar um importante instrumento para definir de forma mais adequada a disponibilidade de água para outorga e a definição da distância apropriada para os poços tubulares.

As informações sobre a evolução temporal do uso do solo para agropecuária e da área irrigada foram organizadas em um sistema web denominado O-Bahia que permite análise territorial para toda a região Oeste da Bahia, sendo possível acessá-lo inicialmente em http://obahia.dea.ufv.br e posteriormente através do site da AIBA. Uma visão do sistema é apresentada em outro artigo desta revista. Além destes estudos foram analisadas as alterações nas propriedades físicas e carbono no solo em função do uso agrícola, bem como o efeito da variabilidade climática e das mudanças no uso do solo na taxa de recarga do aquífero Urucuia.

A equipe técnica é constituída pelo coordenador geral Everardo Mantovani (professor DEA-UFV), Aziz Galvão da Silva Júnior (professor DER-UFV) como subcoordenador e gestor de temas de governança do uso da água, Eduardo Marques (professor DEC-UFV) e Gerson Cardoso (professor UFRJ) coordenadores dos temas de potencial hídrico subterrâneo, Marcos Heil Costa (professor DEA-UFV) coordenador dos temas de uso do solo, análise do impacto da irrigação nas diversas sub bacias, balanço de carbono no solo e taxa de recarga do aquífero Urucuia, Fernando Falco Pruski (professor DEA-UFV) coordenador dos temas de potencial hídrico superficial. A equipe totaliza mais de 30 pesquisadores e auxiliares e conta também com a participação efetiva dos técnicos da AIBA e da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Além dos estudos necessários, uma preocupação na estruturação do projeto foi envolver setores relacionados à gestão de recursos hídricos do governo da Bahia para que houvesse participação e validação em todas as etapas, garantindo que os resultados obtidos fossem um consenso e assim pudessem gerar seus efeitos positivos ao setor produtivo, garantindo ao mesmo tempo produção sustentável e respeito ao meio ambiente.

Dentro deste princípio participativo desenvolveu-se um grande esforço de estabelecer parceria com o governo do Estado da Bahia através das Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI) e de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS) e do Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (INEMA). Também o desenvolvimento de parceria com: Robert B. Daugherty Water for Food Global Institute da Universidade de Nebraska (IWFF/UNL), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Comitês de Bacias, entre outros, tendo já sido realizadas inúmeras reuniões de apresentação e discussão do projeto.

Durante o desenvolvimento da primeira etapa do trabalho (abril de 2017 a novembro de 2019) os resultados foram amplamente apresentados e discutidos em workshop e reuniões técnicas, por meio de palestras e publicações, totalizando mais de 40 importantes eventos nestes dois anos. A edição de um documento com análise estruturada e completa do trabalho e resultados está em fase final e irá subsidiar as discussões com os parceiros do projeto e especialistas da área visando atingir o objetivo primordial do projeto de contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia.

Diversas ações relacionadas ao desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada já foram postas em andamento durante os estudos e a consolidação das mesmas passa pela integração dos resultados estudos com uma rede de monitoramento e por um processo efetivo de governança. Em relação aos estudos, os resultados têm contribuído de forma efetiva para entendimento e disponibilização de informações contrastadas sobre a disponibilidade hídrica (superficial e subterrânea) nas diversas sub bacias.

De forma efetiva o desenvolvimento do projeto possibilitou:

- Um amplo e importante debate sobre a disponibilidade e gestão dos recursos hídricos na região Oeste da Bahia com todos envolvidos e interessados no tema, com destaque para as Instituições estaduais e federais relacionados à gestão, ministério público, órgãos internacionais, comitês de bacias, associações, docentes e discentes universidades federais, estaduais e locais, entre outros;
- Desenvolvimento e organização de base de dados referentes às águas superficiais e subterrânea, assim como a análise da sua disponibilidade e desenvolvimento de produtos que serão usados para definir o potencial sustentável de crescimento e desenvolvimento da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia;
- Caracterização da evolução do uso do solo na região e análise de sub bacias hidrográficas com diferentes níveis de ocupação com agricultura irrigada, indicação de áreas com problemas e com potencial de desenvolvimento;
- Envolvimento das Instituições responsáveis pela gestão de água na região Oeste da Bahia em todo processo (obtenção, processamento e análise dos dados), trazendo perspectivas muito positivas de uso dos sistemas desenvolvidos para gestão dos recursos hídricos de forma a gerar um maior desenvolvimento da agricultura irrigada com segurança hídrica e com paz social.

3. O que precisa ser feito ainda? Onde estamos? Quem fez o quê? Qual será o montante de recursos necessários até o final:

É necessário discutir e implementar um sistema de monitoramento e adotar um modelo de governança, o qual, considerando o arcabouço legal existente, permita aprimorar os mecanismos e processos pelos quais o acesso, uso, controle, transferência e resolução de conflitos relacionadas a água sejam gerenciados.

O estudo do potencial hídrico forneceu informações básicas sobre a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, bem como análise gerais sobre o uso do solo e demanda. Estas informações, conforme descritas anteriormente, devem ser aprimoradas.

Além do estudo, as organizações envolvidas na gestão de recursos hídricos, sejam agências reguladoras, poder público e instituições de pesquisa, desenvolvem estudos e projetos que devem ser integrados a iniciativas dos poderes públicos federal, estadual e municipal e os comitês de bacias hidrográficas e suas agências.

O estudo iniciará a 2ª. Etapa tem como prioridade aperfeiçoar o sistema integrado para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos através de informações científicas reais da disponibilidade para atendimento dos usos múltiplos e o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada empresarial e familiar no oeste da Bahia.

Visando:

1. Discutir e propor modelos de governança e monitoramento para a gestão sustentável e participativa dos recursos hídricos no oeste da Bahia, com base no fortalecimento da transparência e confiança entre usuários, gestores públicos e sociedade civil organizada (Subprojeto 01).
2. Aperfeiçoar o modelo numérico de fluxo do sistema aquífero Urucuia, avaliar cenários de explotação futuros e disponibilizá-lo em uma plataforma web acessível aos usuários cadastrados e autorizados (Subprojeto 02).
3. Disponibilizar um sistema Web de inteligência territorial para monitoramento, análise e projeções da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea associada as demandas atuais e futuras (Subprojeto 03).

Contudo é essencial continuar trabalhando a articulação, governança e ampliar a área de monitoramento essencial para a tomada de decisões.

4. Como o Deputados e a sociedade podem materializar o produto final deste projeto (monitoramento e governança):

O poder legislativo tem papel essencial na concretização de um sistema de monitoramento efetivo e, em especial, na implementação de um sistema de governança. Além do aporte de recursos através de emendas parlamentares, a discussão e divulgação de resultados de estudos e projetos através de mecanismo como audiências públicas e discussões com assessorias técnicas da câmera dos deputados é imprescindível para dar transparência, visibilidade e respaldo político a iniciativas. Ainda mais relevante é a possibilidade de aprimoramento do arcabouço legal relacionados aos recursos hídricos.

O monitoramento vem sendo conduzido pelo Governo do Estado da Bahia, desta maneira, a princípio o Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos – INEMA, o qual poderá ser feito com apoio das instituições parceiras, incluindo os comitês de bacias.

A governança é conduzida de maneira participativa, com inclusão e articulação social, sendo um processo participativo envolvendo diferentes órgãos, municipais, estaduais, federais, instituições representativas (associações, comitês de bacias, entre outros).

O Estudo está sendo conduzido envolvendo diferentes instituições:

- ✓ Governo do Estado da Bahia (Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS) Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (INEMA),
- ✓ Daugherty Water for Food Global Institute da Universidade de Nebraska (IWFF/UNL);
- ✓ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM);
- ✓ Agência Nacional de Águas (ANA);
- ✓ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA);
- ✓ Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB);
- ✓ Universidade do Estado da Bahia (UNEB);
- ✓ Comitês das Bacia dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha;
- ✓ Associações locais e regional (e.g. Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia - AIBA, Associação Baiana dos Produtores de Algodão – ABAPA);
- ✓ Sindicatos dos Produtores Rurais;
- ✓ Federação da Agricultura e Pecuária da Bahia (FAEB);
- ✓ Confederação Nacional da Agricultura (CNA);
- ✓ Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CIDEVASF);
- ✓ Faculdade São Francisco de Barreiras (FASB).

5. Deverão estar presentes na audiência pública:

Agência Nacional de Águas (ANA), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM); Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CIDEVASF); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB); Universidade do Estado da Bahia (UNEB); Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR); Ministério de Ciência de Tecnologia (MCT), Ministério de Meio Ambiente (MMA), *Ministério da Agricultura*, *Pecuária e Abastecimento* (MAPA), Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS), Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (INEMA), Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), CETREL S/A, Confederação Nacional da Agricultura (CNA); Federação da Agricultura e Pecuária da Bahia (FAEB), entre outros.

6. Vamos requerer a presença de alguém do Nebraska?

Sim o diretor de pesquisa do DWFFI Christopher Neale

7. Qual será a nossa sugestão dos 6 debatedores?

Zanella ou Busato, Everardo, Aziz, Marcos, Christopher, Gerson ou Eduardo

8. Qual será a mensagem final para os parlamentares?

Mostrar aos deputados que:

- ✓ a saída para questão hídrica que cada vez preocupa mais a sociedade é ter informações adequadas da disponibilidade para que haja possibilidade de gestão. Impossível gerenciar o que não se conhece;
- ✓ a governança dos recursos hídricos tem que ser modernizada para as demandas, conhecimento e tecnologias disponíveis;
- ✓ a implantação de um sistema de monitoramento participativo, integrado e eficiente é questão fundamental para gestão sustentável dos recursos hídricos para todos os usuários;
- ✓ o modelo de estudo participativo na região Oeste da Bahia é um exemplo que pode servir de modelo para outras regiões do país;
- ✓ os resultados do estudo a serem apresentados ilustram forma efetiva de obter e usar a informação para gerar gestão adequada dos recursos hídricos.

ANEXO 3: Comunicação ao INEMA

Historicamente os recursos hídricos subterrâneos têm sido negligenciados no Brasil e em todo o mundo. Sua utilização tem sido tem sido relegada nas ações de planejamento do uso dos recursos hídricos em todos os níveis, sendo que uma possível explicação decorre de sua natureza oculta à visão dos gestores e da sociedade em geral.

Apesar evolução positiva da situação nos últimos anos, continuamos com escassez de informações em quantidade e qualidade, com limitações técnicas que impedem uma adequada gestão.

No Oeste baiano a situação não é diferente, o sistema Aquífero Urucuia constitui um dos maiores e mais relevantes sistemas aquíferos do país em extensão areal, volumes armazenados disponíveis e também em termos econômicos, cuja maior parte da área de ocorrência está no oeste da Bahia e, existem importantes lacunas no conhecimento de seu potencial hídrico, mecanismos de funcionamento hidrogeológico, recarga, fluxos etc. Esse extraordinário reservatório de água, com importância fundamental na manutenção do fluxo de base do sistema fluvial da bacia do rio São Francisco está, igualmente, sujeito a variações climáticas que impõem períodos de seca os quais, segundo os dados mais recentes indicam, serão mais frequentes e acentuados até o final do presente século. Desse modo, são crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais dessas secas sobre os níveis de água dos aquíferos, fontes e rios.

Para conseguir uma adequada compreensão da recarga, circulação de água, efeitos do bombeamento, modificações no uso do solo, períodos de seca e outros, realizou-se o presente estudo, que envolve o desenvolvimento e calibração de um modelo matemático de fluxo da água subterrânea do SAU baiano. Assim, dentro do tema de águas subterrâneas do aquífero Urucuia desenvolveu-se a partir do modelo conceitual o modelo matemático tanto em regime permanente quanto em regime transitório por meio do pacote computacional Visual ModFlow 4.6.

A utilização do software Visual Modflow 4.6 foi definida pois o mesmo apresenta códigos matemáticos para simulação de fluxo de água subterrânea aceitos em mundialmente. O Visual Modflow permite simulações que permitem determinar a disponibilidade hídrica, avaliação da situação atual, tendências futuras e assim a definição de estratégias de

planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas, se tornando um importante instrumento para definir de forma mais adequada a disponibilidade de água para outorga e a definição da distância apropriada para os poços tubulares.

Além disso, funciona como uma fonte integrada de informações sobre o aquífero, sendo assim importante ferramenta para auxiliar na gestão a todos envolvidos no tema.

O referido estudo nos trouxe elementos técnicos/cientifico suficientes para que fosse desenvolvida essa ferramenta para a tomada de decisões em relação a distanciamentos dos poços artesianos. Após sucessivas simulações feitas pelo software com base nos dados coletados durante os estudos sugerimos que em regiões do aquífero de Urucuia as distancias entre os poços sejam revistas e reduzidas conforme minuta abaixo descrita:

1. Alteração da Instrução Normativa n° 15 de 18 de março de 2010, do Instituto de Gestão de Águas e Clima (INGÁ), que dispõe sobre procedimentos administrativos e critérios técnicos para perfuração de poços tubulares para fins de exploração de água subterrânea no aquífero Urucuia de domínio do Estado da Bahia, conforme sugestões abaixo:

Art.1 º. Para efeito desta Instrução Normativa, as distâncias mínimas encontram-se definidas no Art. 6º da Instrução Normativa n° 15 de 18 de março de 2010.

§ 1º - Para distâncias entre poços tubulares iguais ou inferiores a 40% das distâncias mínimas apresentadas no Art. 6º da Instrução Normativa n° 15 de 18 de março de 2010 é obrigatória a realização de avaliação de interferência entre poços tubulares com vazão individual superior a 30 m3/h; e entre poços tubulares e corpos hídricos perenes, como rios e lagos, para poços com vazão superior a 20 m3/h, respeitando os limites entre propriedades.

§ 2º - Deve-se demonstrar ao órgão de regulação, anteriormente à entrada em operação do poço, que não ocorre interferência entre os poços ou entre o poço e outros corpos hídricos perenes.

Art. 2 º. Em se tratando de construção de novos poços tubulares, é necessário implantar um piezômetro em distância de até 50 m do poço e a uma profundidade que permita a adequada medição do rebaixamento oriundo do poço de bombeamento, para poços com vazão superior a 30 m3/h. De maneira a compor o estudo hidrogeológico necessário à outorga, deve-se apresentar: o perfil geológico local, o resultado de teste de aquífero e os parâmetros hidráulicos.

§ 1º - A possibilidade de se implantar novos poços em distâncias inferiores às definidas no Art. 6º da Instrução Normativa n° 15 de 18 de março de 2010 será avaliada através do estudo hidrogeológico citado no caput do artigo que permita aferir possíveis rebaixamentos futuros advindos dessa instalação e operação.

§ 2º - Para conjuntos de poços situados em um perímetro que caracterize um único empreendimento, dependendo da geologia local e a critério do órgão de regulação, pode-se reduzir o número de piezômetros a até um único piezômetro por conjunto.

Art. 3 º. Em se tratando de Outorgas destinadas à explotação de água subterrânea, por meio de poço tubular profundo, deverão ser apresentados, além de outros aspectos previstos na legislação, as seguintes informações:

i. aspectos geológicos e hidrogeológicos do local da intervenção;

ii. documentação construtiva do poço;

iii. perfil geológico do poço;

Subsídios para comunicação ao Ilmo. Governador, Sr. Rui Costa.

16/08/2021

O projeto em andamento para estudo dos recursos hídricos da região Oeste da Bahia proposto pela Associação de Produtores e Irrigantes da Bahia (AIBA) com financiamento do PRODEAGRO e parceria do Governo da Bahia, foi desenvolvido sob responsabilidade técnica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) permitindo um grande avanço no conhecimento do tema. Este avanço tem sido medido pelo ampla divulgação e debate sobre o tema que, de maneira técnica e científica, apresenta a real situação da região e propõe soluções.

Neste sentido é fundamental que medidas sejam tomadas para permitir o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada da região, tanto para as grandes áreas produtoras, como também para importante agricultura de pequeno porte onde destaca-se a agricultura familiar. Importante que tais medidas dependem em grande parte de ações propostas ou avaliadas pelo Governo do Estado da Bahia.

Como sustentação dessa importante demanda, é reconhecido que a região do Oeste da Bahia se transformou em uma das regiões do agronegócio brasileiro com mais informações integradas dos recursos hídricos em todo Brasil, contribuindo de forma o amplo estudo realizado, com as informações já existentes, com as que foram adquiridas no processo e, principalmente com o tratamento, análise e publicações.

Foram feitas medições através de campanhas de campo e visitas técnicas e estas foram integradas com dados existentes e imagens de satélites, de maneira a compreender em detalhes a ocupação do solo na região, o clima e identificar a evolução da área de agricultura em geral, em especial a área irrigada.

Houve um aprimoramento do conhecimento da disponibilidade hídrica superficial, desenvolveu-se um processo de modelagem com vistas a conhecer a dimensão e a disponibilidade hídrica do aquífero Urucuia, a interação com as águas superficiais (rios) e simular a evolução da profundidade do lençol freático em distintas estratégias de captações subterrâneas. Também foi calculada, com embasamento técnico, a recarga anual de água para o aquífero em função das chuvas, do histórico de ocupação do solo e um estudo detalhado de infiltração de água no solo, informação necessária para definir a vazão disponível para captação do aquífero.

Importante destacar o sistema OBahia, uma plataforma de dados e resultados, disponível na web que permite um acesso livre às principais informações e resultados do estudo. Os acessos a esta plataforma, ao atlas, publicações, relatórios e outras informações encontram-se disponíveis na página da AIBA na internet (http://aiba.org.br/).

Considerando a importância social e econômica das pequenas unidades de produção (individuais e em perímetros), destaca-se também as iniciativas de análise, incentivo e apoio técnico, com montagem de unidades de demonstração, treinamento e difusão tecnológica de produção irrigada.

Todo esse processo de ampliação de conhecimento foi acompanhado de uma extensa agenda de discussões e debates sobre o projeto e seus resultados com os principais interessados e envolvidos no tema, construindo um debate técnico e científico em base a dados e informações técnicas. Foram realizadas interlocuções permanentes da AIBA e da UFV com o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA), a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS), Companhia de Pesquisa

de Recursos Minerais (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA), com os Comitês de Bacia do Rio Grande e do Rio Corrente, Universidades Estaduais e Federais da região e de Salvador, além de uma interlocução e parceria internacional com o Daugherty Water for Food Global Institute (DWFI) da University of Nebraska – Lincoln (UNL) que detém grande expertise em irrigação e gestão hídrica compartilhada.

Os principais resultados e produtos estão sendo disponibilizados em um amplo programa de difusão e treinamento que ocupará os meses de agosto a outubro de 2021, com envolvimento da comunidade, comunidade técnica da iniciativa privada e pública.

O projeto vem sendo desenvolvido desde 2017 e termina agora em outubro de 2021 e, importante caracterizar e implementar as seguintes recomendações técnicas, que solicitamos a atenção de vossa excelência:

1) Proposta de alteração a Instrução Normativa nº. 15 de 18 de março de 2010 que dispõe sobre procedimentos administrativos e critérios técnicos para perfuração de poços tubulares para fins de exploração de água subterrânea no aquífero Urucuia de domínio do Estado da Bahia. Ela foi amplamente discutida em face aos novos conhecimentos deste e de outros estudos e é apresentada em anexo;
2) Ajustar a normativa de emissão e renovação de outorgas que limita o tempo de bombeamento em 18 horas. Para um mesmo volume bombeado diariamente, não importa para a disponibilidade hídrica e essa limitação de horas encarece o processo de irrigação;
3) O processo de outorga atual, não considera as diferentes disponibilidades ao longo dos meses do ano, sendo fixadas em função apenas do que o período de vazão mínima permite. A possibilidade outorgas sazonais implicaria um sistema de produção mais efetivo e em consonância com a disponibilidade hídrica real. Tal sistema iria de encontro com a política do aumento da área irrigada, estimulando o uso racional e sustentável do recurso hídrico, além de preparar uma situação mais precisa e justa, caso seja implementada a cobrança pelo uso deste recurso. Tais limites de uso mensal seriam controlados pela exigência já em curso de medição e envio permanente dos dados para o orgão gestor para obtenção e manutenção das outorgas de água.
4) Desvinculação do volume ou vazão da água outorgada com a área utilizada para irrigação e produção. O processo atual acaba penalizando o uso eficiente e tecnologia no empreendimento rural e, permitiria maior produtividade e maximização da utilização do recurso hídrico. Nesse ponto também as novas exigências de medição da água bombeada pelos usuários no processo de outorga de água permitiria o controle do uso do volume liberado.
5) Solução para definição clara em toda região sobre a presença e distribuição dos corpos hídricos perenes, efêmeros, temporários e intermitentes. As bases cartográficas atuais são frágeis nos registros de áreas de proteção. Esta demanda visa possibilitar a aplicação adequada da legislação pública sobre a hidrografia, as áreas de preservação vinculadas e assim permitir a incorporação de áreas produtivas que estão sendo impedidas pelos erros na cartografia atual;
6) Possibilidade de ampliação do banco de dados do Estado da Bahia do uso, ocupação do solo, disponibilidade dos recursos hídricos a partir das informações disponíveis na plataforma OBahia