

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE OUTORGA COLETIVA
EM REGIÕES DE CONFLITO PELO USO DA ÁGUA
ATRAVÉS DO WEAP. ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO
FORMOSO-TO.**

EDUARDO PAULINO DA SILVA

ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI

**CO-ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA
ALBUQUERQUE ALVES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA
AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO/2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE OUTORGA COLETIVA EM
REGIÕES DE CONFLITO PELO USO DA ÁGUA ATRAVÉS DO
WEAP. ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO FORMOSO-TO.**

EDUARDO PAULINO DA SILVA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

Prof. Ricardo Tezini Minoti, Dr. (ENC/UnB)
(Orientador)

Prof. Henrique Roig, Dr. (ENC/UnB)
(Examinador Interno)

Prof^a. Alan Vaz Lopes, Dr. (ANA)
(Examinador Externo)

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, EDUARDO PAULINO DA

Avaliação de Cenários de Outorga Coletiva em Regiões de Conflito pelo Uso da Água através do WEAP. Estudo de Caso: Bacia do Rio Formoso-TO. [Tocantins] 2023.

xviii, 200 p., 210 x 297 mm (PTARH/ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2022)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. WEAP

2. Outorga Coletiva

3. Gestão de Alto Nível

4. Agricultura Irrigada

I. PTARH/ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, E. P. (2023). Avaliação de Cenários de Outorga Coletiva em Regiões de Conflito pelo Uso da Água através do WEAP. Estudo de Caso: Bacia do Rio Formoso-TO. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-245/2023, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 193p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Eduardo Paulino da Silva

TÍTULO: Avaliação de Cenários de Outorga Coletiva em Regiões de Conflito pelo Uso da Água através do WEAP. Estudo de Caso: Bacia do Rio Formoso-TO.

GRAU / ANO: Mestre / 2023.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Eduardo Paulino

eduardopaulino_silva@hotmail.com

88058-581 – Rio de Janeiro /RJ – Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo. À minha família por todo apoio que me deram. Agradeço ao meu pai por ter me ensinado o valor da educação e a não desistir dos meus objetivos, à minha mãe por todo carinho e cuidado em zelar pelo meu conforto nos momentos de dificuldade e ao meu irmão, pelo incentivo dado e pelos momentos de lazer que restauraram minhas energias diversas vezes.

Ao professor Ricardo pela paciência e pela disponibilidade em sanar minhas dúvidas, realizar correções e dar incentivos para ir em busca dos meus objetivos. À professora Conceição, que se preocupou em compartilhar todo o seu conhecimento para a compreensão da ferramenta utilizada neste trabalho e cuja contribuição na elaboração dos cenários foi fundamental.

A Universidade Federal do Tocantins e à equipe Gestão de Alto Nível, que disponibilizaram todas as informações possíveis para a realização deste trabalho, em especial o professor Fernan Enrique Figueroa Vergara e a professora Roberta Mara de Oliveira Vergara, que sanaram todas as minhas questões a respeito da bacia do rio Formoso e Urubu.

Agradeço aos professores, Henrique Roig e Alan Vaz Lopes, que foram pacientes e se dispuseram a participar da minha banca, bem como deram contribuições significativas para a melhoria do trabalho.

A CAPES e a ANA pelo financiamento do projeto “Rede de Pesquisa para Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Formoso-TO” no âmbito do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos chamada nº 16/2017.

A Universidade de Brasília e a todos os professores da instituição com quem tive a oportunidade de ter aulas, em especial à professora Cristina Célia Silveira Brandão, que no momento mais difícil da minha graduação, me deu conselhos e foi extremamente atenciosa em me orientar neste período difícil.

Agradeço às minhas colegas de projeto Nicole Volken e Deborah Santos pelo tempo que passamos juntos trabalhando, trocando e amadurecendo nossas ideias acerca das questões que envolvem a bacia do rio Formoso, com o propósito de contribuir, da melhor forma possível, para este projeto incrível que é o Gestão de Alto Nível.

Por fim, agradeço a todos que atravessaram minha vida na pós-graduação e que contribuíram para o meu amadurecimento.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), localizada no Tocantins, tem enfrentado uma severa escassez dos recursos hídricos durante o período seco, resultado da redução das chuvas e da intensa agricultura irrigada, desencadeando conflitos entre os agricultores e outros setores. Em 2016, trechos dos principais rios da bacia, o Formoso e o Urubu, secaram completamente, levando à suspensão da retirada de água e à proibição de qualquer empreendimento sujeito a impactos ambientais. Diante desse cenário, a Universidade Federal do Tocantins (UFT) desenvolveu o sistema de gestão dos recursos hídricos denominado Gestão de Alto Nível (GAN). Porém, a fase desse projeto relacionada à revisão das outorgas e regras de operação das bombas, não foi concluída. Após algumas audiências públicas, um Grupo de Trabalho desenvolveu o Plano do Biênio 2018-2019, com a organização operacional das captações, especialmente para o período crítico. Entretanto, assim como a fase final do GAN, essa organização não foi implementada. Nesse sentido, o presente estudo realizou a modelagem hidrológica da BHRF por meio do WEAP e simulou os cenários A e B do Plano do Biênio, que se referem a diferentes regras de operação das bombas de captação d'água nas regiões de conflito. As vazões remanescentes obtidas em cada uma dessas regiões foram avaliadas considerando que os usuários estão submetidos a uma outorga coletiva, em que uma vazão ambiental deve ser preservada a jusante das bombas de captação. Considerou-se dois valores de vazão ambiental, um conservador (25% da Q95 mensal) e outro flexível (25% da Q90 sazonal). A modelagem foi realizada para o período que vai de julho de 2018 a junho de 2021, considerando um passo de tempo diário. Os resultados de vazão remanescente para os cenários PB-A e PB-B no mês de julho são semelhantes. Nos trechos críticos de montante do rio Formoso, a vazão remanescente supera o limite flexível de vazão ambiental na maioria dos dias, porém, o mesmo não ocorre quando se compara esses valores com o limite mais restritivo. Em contrapartida, os resultados de vazão remanescente nos trechos críticos de jusante são superiores, de forma geral, ao limite restritivo de vazão ambiental, muito em virtude das regras de rodízio aplicadas a montante. Somente na foz do rio Urubu as regras não produziram aumento satisfatório na vazão remanescente, o que pode estar relacionado à intermitência do rio relatado por técnicos e produtores. Acredita-se que a definição de um limite de vazão remanescente mais adequado seja a chave para balizar as regras de alocação de água na bacia.

Palavras-chave: WEAP, Outorga Coletiva, Gestão de Alto Nível.

ABSTRACT

The Formoso River Hydrographic Basin (BHRF), located in Tocantins, has faced a severe shortage of water resources during the dry period, resulting from reduced rainfall and intense irrigated agriculture, triggering conflicts between farmers and other sectors. In 2016, sections of the main rivers of the basin, the Formoso and the Urubu, completely dried, leading to the suspension of water retrieval and the ban on any undertaking subject to environmental impacts. Faced with this scenario, the Federal University of Tocantins (UFT) developed water resources management system called High Level Management (GAN). However, the phase of this project related to the revision of the water pumps orders and operating rules has not been completed. After some public hearings, a Working Group developed the 2018-2019 Biennial Plan with the operational organization of the proceeds, specifically for the critical period. However, similar to the final phase of GAN, this organization has not been implemented. In this sense, the present study carried out hydrological modeling of the BHRF through the WEAP and simulated scenarios A and B of the Biennium Plan, which refers to different rules of operation of water pumping in conflict regions. The remaining flows obtained in each of these regions were assessed considering that users are subject to a collective award, in which an environmental flow must be preserved from the absorption pumps. Two environmental flow values were considered: conservative (25% of monthly Q95) and flexible (25% from seasonal Q90). Modeling was carried out for the period from July 2018 to June 2021, considering a daily time step. The results of the remaining flow for scenarios PB-A and PB-B in July were similar. In critical upstream sections of Formoso river, the remaining flow exceeds the flexible environmental flow limit on most days, however; this is not the case when comparing these values to the more restrictive limit. Nonetheless, the remaining flow results in critical downstream sections that are generally higher than the restrictive environmental flow limit, largely to upstream rotation rules. Only the mouth of the Urubu river did the rules not produce a satisfactory increase in the remaining flow, which may be related to the intermittence of the river by technicians and producers. Furthermore, it is believed that setting a more appropriate residual flow limit is the key to highlighting water allocation rules.

Keywords: WEAP, Collective Grant, High Level Management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: histórico	4
3.2. A LEI DAS ÁGUAS	11
3.2.1 Os fundamentos da PNRH	12
3.2.1.1 A água como bem de domínio público	12
3.2.1.2 A água como um bem dotado de valor econômico	13
3.2.1.3 Uso prioritário das águas	14
3.2.1.4 Usos múltiplos das águas	15
3.2.1.5 A bacia hidrográfica como unidade de gestão	16
3.2.1.6 Gestão descentralizada e participativa	17
3.2.2 Aspectos legais da outorga	18
3.3. A OUTORGA COLETIVA DA ÁGUA	20
3.3.1 Modalidades de outorga coletiva	22
3.4. Water evaluation and planning system – weap	24
3.4.1 Estrutura do WEAP	26
3.4.1.1 Visualização Esquemática (Schematic View)	27
3.4.1.2 Visualização de Dados (Data View)	29
3.4.1.3 Visualização de Resultados (Results View)	30
3.4.2 Método de Umidade do Solo - Soil Moisture Method	30
3.4.3 Aplicação	36
3.5 A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BHRF	38
3.5.1 Legislação	38
3.5.2 Conflitos pelo uso da água e o Projeto GAN	39
3.5.3 Plano do Biênio (2018-2019)	43
4. METODOLOGIA	46
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
4.1.1 Agricultura Irrigada	48

4.1.2	Uso e cobertura do solo	50
4.1.3	Meio Físico	53
4.1.3.1	Geologia	53
4.1.3.2	Geomorfologia	56
4.1.3.3	Declividade	65
4.1.3.4	Pedologia	68
4.2	TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS	70
4.2.1	Dados Climáticos	71
4.2.1.1	Precipitação	71
4.2.1.2	Temperatura, Velocidade do Vento e Umidade Relativa	74
4.2.1.3	Nebulosidade e Albedo	85
4.2.2	Demanda hídrica	86
4.2.3	Disponibilidade Hídrica	87
4.2.3.1	Regionalização de Vazões	94
4.2.4	Classes de uso e cobertura do solo	101
4.3	DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM NO WEAP	103
4.3.1	Definição do Estudo	104
4.3.2	Calibração do Modelo	106
4.3.2.1	Variáveis de Calibração	106
4.3.2.2	Índice de Sensibilidade	109
4.3.2.3	Medidas de Qualidade do Ajuste	111
4.3.3	Construção de Cenários	113
4.3.3.1	Cenário de Referência	114
4.3.3.2	Cenário PB-A	115
4.3.3.3	Cenário PB-B	116
5.	RESULTADOS	117
5.1	Análise de Sensibilidade	117
5.2	Calibração do modelo	121
5.3	Análise de Cenários	127
5.3.1	DIRF – Médio Formoso	128
5.3.2	Baixo Formoso	132
5.3.3	Foz Rio Urubu	135
5.3.4	Foz Rio Formoso	139
6.	CONCLUSÕES	142

7. RECOMENDAÇÕES	144
BIBLIOGRAFIA	145
APÊNDICES	154
APÊNDICE A – PRECIPITAÇÃO MÉDIA DIÁRIA NAS SUB-BACIAS DA BHRF	155
APÊNDICE B – DEMANDA HÍDRICA DAS BOMBAS DE CAPTAÇÃO	160
APÊNDICE C – ALBEDO DIÁRIO PARA AS SUB-BACIAS DO RIO FORMOSO.	175

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout do WEAP e identificação dos tipos de visualização do sistema. Fonte: SEI (2015).	27
Figura 2 - Interface do Mapa Esquemático no WEAP e identificação dos componentes (nós e arcos). Fonte: SEI (2015).	28
Figura 3 - Interface da Visualização de Dados no WEAP com a identificação da árvore hierárquica (3a.), Tabela de Entrada de Dados (3b.) e exibidor de gráficos e tabelas (3c.).	29
Figura 4 - Diagrama Conceitual do Método de Umidade do Solo, acoplado ao WEAP, e equações do balanço de massa. Fonte: Adaptado de SEI (2015).	32
Figura 5 - Bombas de captação na BHRF. Fonte: IAC (2017).	40
Figura 6 - Intermitência do rio Formoso na BHRF (a) e resgate de animal aquático no leito do rio Formoso . Fonte: IAC (2017).	41
Figura 7 - Interface do aplicativo online do Projeto GAN referente aos dados de disponibilidade hídrica em uma estação fluviométrica aleatória. Fonte: GAN (2017).	42
Figura 8 - Interface do aplicativo online do Projeto GAN referente aos dados de demanda hídrica para uma bomba de captação aleatória. Fonte: GAN (2017).	43
Figura 9 - Distribuição equivalente de: a) número de bombas e b) vazão total, em l/s, nos trechos críticos da BHRF. Fonte: IAC (2018).	44
Figura 10 - Regras Semafóricas para captação superficial na BHRF. Fonte: IAC (2018).	45
Figura 11 - Mapa de localização da BHRF-TO.	48
Figura 12 - Cultivo de sistema de irrigação por inundação em várzeas tropicais. Fonte: Seagro-TO (2021).	49
Figura 13 - Subirrigação de arroz. Fonte: EMBRAPA (2023).	50
Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da BHRF-TO. Fonte: MapBiomias (2021).	51
Figura 15 - Unidades litoestratigráficas identificadas na BHRF. Fonte: Santos et al. (2016).	56
Figura 16 - Estrutura geomorfológica proposta por IBGE (2009).	57
Figura 17 - Domínios Morfoestruturais identificados na BHRF. Fonte: SEPLAN-TO (2017).	59
Figura 18 - Unidades Geomorfológicas identificadas na BHRF. Fonte: SEPLAN-TO (2017).	59

Figura 19 - Áreas de acumulação inundáveis nos municípios de Lagoa da Confusão (a) e Formoso do Araguaia (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).	61
Figura 20 - Planícies fluviais (a) e áreas de acumulação inundáveis (b), no município de Formoso do Araguaia. Fonte: SEPLAN-TO (2017).	61
Figura 21 - Terraço fluvial localizado às margens do rio Escuro, município de Araguaçu (a), pe planícies fluviais nas margens do rio Santo Antônio, divisa dos municípios de Peixe e Gurupi (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).	62
Figura 22 - Área de relevo suavemente ondulado na divisa entre os municípios de Pium e Cristalândia (a) e no município de Aliança do Tocantins (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).	63
Figura 23 - Superfícies planas localizadas nos municípios de Araguaçu (a) e Formoso do Araguaia (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).	64
Figura 24 - Superfícies planas localizadas nos municípios de Peixe (a) e Santa Rosa do Tocantins (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).	65
Figura 25 - Classes de Declividade encontradas na BHRF.	66
Figura 26 - Mapa de Pedologia da BHRF-TO.	68
Figura 27 - Divisão da BHRF em 9 sub-bacias para a aplicação da modelagem no WEAP.	70
Figura 28 - Estações pluviométrica identificadas na região da BHRF	72
Figura 29 - Polígonos de Thiessen obtidos para cada uma das sub-bacias da BHRF para obtenção da precipitação média.	74
Figura 30 - Estações meteorológicas do INMET utilizadas para a modelagem no WEAP.	75
Figura 31 - Temperatura média diária para a estação Araguaçu (A054).	79
Figura 32 - Umidade Relativa do Ar média diária para a estação Araguaçu (A054).	80
Figura 33 - Velocidade do Vento média diária para a estação Araguaçu (A054).	80
Figura 34 - Temperatura média diária para a estação Formoso do Araguaia (A039).	82
Figura 35 - Umidade Relativa do Ar média diária para a estação Formoso do Araguaia (A039).	82
Figura 36 - Velocidade do Vento média diária para a estação Formoso do Araguaia (A039).	82
Figura 37 - Temperatura média diária para a estação Lagoa da Confusão (A055).	84
Figura 38 - Umidade Relativa do Ar média diária para a estação Lagoa da Confusão (A055).	84

Figura 39 - Velocidade do vento média diária para a estação Lagoa da Confusão (A055).	85
Figura 40 - Agricultura irrigada e bombas de captação d'água na BHRF. _____	86
Figura 41 - Estações Fluviométricas selecionadas para a modelagem no WEAP. _____	88
Figura 42 - Localização do trecho crítico Foz Rio Formoso e bombas de captação d'água. _____	89
Figura 43 - Localização do trecho crítico Baixo Formoso e bombas de captação d'água. _	90
Figura 44 - Localização do trecho crítico DIRF, na altura do curso médio do rio Formoso, e bombas de captação d'água. _____	90
Figura 45 - Localização do trecho crítico Foz Rio Urubu e bombas de captação d'água__	91
Figura 46 - Hidrograma de vazões diárias da estação fluviométrica Projeto Rio Formoso (26730000), de 1/7/2018 a 30/6/2021 _____	92
Figura 47 - Hidrograma de vazões diárias da estação Foz Rio Formoso (26799000), de 1/7/2018 a 30/6/2021. _____	93
Figura 48 - Hidrograma de vazões diárias da estação Foz Rio Urubu (26798500), de 1/7/2018 a 31/6/2021. _____	93
Figura 49 - Hidrograma resultante do preenchimento de falhas através do Método de Regressão Linear Múltipla aplicado à estação Projeto Rio Formoso. _____	95
Figura 50 - Caso 1 (a): estimativa da vazão em um ponto y a montante de um posto x com vazão conhecida. Caso 2 (b): ponto de interesse y localizado a jusante de um posto com vazão conhecida Fonte: Chaves et al. (2002). _____	96
Figura 51 - Caso 3: Ponto de interesse z situado entre duas estações com vazão conhecida. Fonte: Chaves et al. (2002). _____	97
Figura 52 - Caso 4: Ponto de interesse z situado em um canal afluente, cuja foz z' está entre dois postos de vazão conhecida, x e y, localizados em um rio de ordem superior. Fonte: Chaves et al. (2002). _____	98
Figura 53 - Áreas de drenagem das seções de interesse e do ponto de confluência do rio Urubu com o rio Formoso. _____	99
Figura 54 - Vazões diárias regionalizadas da estação Projeto Rio Formoso para a estação Foz Rio Formoso. _____	100
Figura 55 - Vazões diárias regionalizadas da estação Projeto Rio Formoso para a confluência dos rios Urubu e Formoso. _____	101
Figura 56 - Vazões diárias regionalizadas da estação Projeto Rio Formoso para a estação Foz Rio Urubu. _____	101

Figura 57 - Representação da BHRF no sistema WEAP com seus respectivos componentes (nós e arcos).	104
Figura 58 - Identificação das regiões críticas na BHRF e grupos de bombas (G1, G2 e G3) estabelecidos pelo Plano do Biênio 2018-2019.	115
Figura 59 - Sensibilidade da média das vazões diárias à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo do WEAP.	119
Figura 60 - Deformação do NSE à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo.	120
Figura 61 - Deformação do PBIAS à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo.	120
Figura 62 - Deformação do R ² à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo.	121
Figura 63 - Hidrograma das vazões observada e modelada para a estação Projeto Rio Formoso, considerando o período de 1/7/2018 a 30/6/2021.	122
Figura 64 - Hidrograma das vazões observada e modelada para a estação Foz Rio Urubu, considerando o período de 1/7/2018 a 30/6/2021.	124
Figura 65 - Hidrograma das vazões observada e modelada para a estação Foz Rio Formoso, considerando o período de 1/7/2018 a 30/6/2021.	126
Figura 66 - Vazão remanescente no Médio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).	128
Figura 67 - Vazão remanescente no Médio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).	129
Figura 68 - Vazão remanescente no Médio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).	131
Figura 69 - Vazão remanescente no Baixo Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).	132
Figura 70 - Vazão remanescente Baixo Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).	133

Figura 71 - Vazão remanescente no Baixo Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	134
Figura 72 - Vazão remanescente na foz do rio Urubu para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	136
Figura 73 - Vazão remanescente na foz do rio Urubu para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	137
Figura 74 - Vazão remanescente na foz do rio Urubu para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	138
Figura 75 - Vazão remanescente na foz do rio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	139
Figura 76 - Vazão remanescente na foz do rio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	140
Figura 77 - Vazão remanescente na foz do rio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador)._____	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parcela de área coberta, em km ² e %, das classes de uso e cobertura do solo na BHRF. _____	52
Tabela 2 - Unidades Geotectônicas e litoestratigráficas da BHRF. Fonte: Santos e Morais (2017). _____	54
Tabela 3 - Descrição dos grupos taxonômicos na Geomorfologia. Fonte: Adaptado de IBGE (2009). _____	58
Tabela 4 - Domínios morfoestruturais, unidades geomorfológicas e modelados encontrados na BHRF. Fonte: Adaptado de SEPLAN-TO (2017). _____	60
Tabela 5 - Estações pluviométricas utilizadas na modelagem da BHRF no WEAP. _____	73
Tabela 6 - Estações meteorológicas utilizadas na modelagem hidrológica da BHRF no WEAP. _____	76
Tabela 7 - Equações de RLM e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura das estações do INMET selecionadas. _____	77
Tabela 8 - Equações de RLM e respectivas estatísticas obtidas para os dados de umidade relativa do ar das estações do INMET selecionadas. _____	77
Tabela 9 - Equações de RLM e respectivas estatísticas obtidas para os dados de velocidade do vento das estações do INMET selecionadas. _____	77
Tabela 10 - Equações de RLS e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento para a estação Araguaçu _____	78
Tabela 11 - Equações de RLS e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento para a estação Formoso do Araguaia. _____	81
Tabela 12 - Equações de RLS e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento para a estação Lagoa da Confusão. _____	83
Tabela 13 - Estações fluviométricas selecionadas para a modelagem da BHRF no WEAP. _____	87
Tabela 14 - Equação de regressão múltipla e respectivas estatísticas obtidas para o preenchimento de falhas nos dados de vazão da estação Projeto Rio Formoso. _____	95
Tabela 15 - Características morfométricas das áreas de drenagem correspondentes à estação Foz Rio Formoso (A), confluência do rio Formoso com o rio Urubu (B), estação Projeto Rio Formoso (C) e estação Foz Rio Urubu (D). _____	99

Tabela 16 - Classes, sub-classes e unidades de uso e cobertura do solo identificadas na BHRF.	102
Tabela 17 - Parcelas de área das classes de uso e cobertura do solo para cada sub-bacia da BHRF, inseridos no WEAP.	103
Tabela 18 - Descrição do impacto no modelo WEAP das variáveis de solo do Método de Umidade do Solo no compartimento superficial. Fonte: SEI (2022).	108
Tabela 19 - Descrição do impacto no modelo WEAP das variáveis de solo do Método de Umidade do Solo no compartimento profundo. Fonte: SEI (2022).	109
Tabela 20 - Valores padrões dos parâmetros de solo a partir dos quais se realizou a análise de sensibilidade do modelo da BHRF no WEAP.	110
Tabela 21 - Critérios de avaliação de desempenho das estatísticas NSE, R ² e PBIAS desenvolvidas por Moriasi et al. (2015) para modelos de escala de bacias hidrográficas e de campo.	112
Tabela 22 - Vazões de Referência Q90 sazonal e respectivas vazões ambientais determinadas para as regiões críticas da BHRF.	114
Tabela 23 - Vazões de Referência Q95 mensal e respectivas vazões ambientais determinadas para as regiões críticas da BHRF.	114
Tabela 24 - Cenário A – Ciclo do rodízio com a duração da operação de cada Grupo e Repouso	116
Tabela 25 - Cenário B – Ciclo do rodízio com a duração da operação de cada Grupo e Repouso	117
Tabela 26 - Índices de Sensibilidade obtidos para os parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo frente aos resultados de vazão modelada na estação Projeto Rio Formoso	117
Tabela 27 - Resultado das estatísticas de desempenho e respectivas classificações conforme Moriasi et al. (2015), para a calibração do modelo da BHRF na estação Projeto Rio Formoso.	122
Tabela 28 - Valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Piaus, Pau Seco, Alto Formoso e Médio Formoso após a calibração do modelo.	123
Tabela 29 - Resultado das estatísticas de desempenho e respectivas classificações conforme Moriasi et al. (2015), para a calibração do modelo da BHRF na estação Foz Rio Urubu.	124

Tabela 30 - Valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Dueré, Ribeirão Lago Verde e Urubu após a calibração do modelo. _____	125
Tabela 31. Resultado das estatísticas de desempenho e respectivas classificações conforme Moriasi et al. (2015), para a calibração do modelo da BHRF na estação Foz Rio Formoso. _____	126
Tabela 32 - Valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Xavante e Baixo Formoso após a calibração do modelo. _____	127

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- IAC – Instituto de Atenção às Cidades
- GAN – Gestão de Alto Nível
- UFT – Universidade Federal do Tocantins
- SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
- PB-A – Plano do Biênio Cenário A
- PB-B – Plano do Biênio Cenário B
- SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Orçamento
- SEAGRO – Secretaria de Agricultura e pecuária
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- NASA – National Aeronautics and Space Administration
- NASA POWER – NASA Prediction of Worldwide Energy Resources
- SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
- SHRMA – Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente

1. INTRODUÇÃO

A outorga de direito de uso da água é um importante instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, criada para garantir, conforme a lei nº 9.433/1997, o controle da quantidade e qualidade dos usos da água, bem como a efetiva implementação dos direitos de acesso a esse recurso. Nos últimos anos, devido às dificuldades associadas à sua aplicação, em regiões onde ocorrem conflitos pelo uso da água, os gestores têm buscado como alternativa o emprego de uma variante desse instrumento, denominada outorga coletiva.

O termo “outorga coletiva” não consta em nenhum texto legal, mas é utilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para referir-se a um ato da autoridade outorgante, onde são outorgados diversos usuários e suas respectivas utilizações de recursos hídricos. A outorga coletiva, a partir da Alocação Negociada de Água, representa uma das situações de aplicação dessa modalidade de outorga, onde um grupo de usuários se compromete a utilizar uma vazão máxima, definida num processo de negociação (ANA, 2013; ANA, 2011).

Conforme Spolidorio (2017), a aplicação da alocação negociada, efetivamente ligada a processos participativos e à concessão de outorgas coletivas, pode fortalecer a capacidade reguladora do Estado, pois além contar com a contribuição dos próprios usuários de água, diretamente interessados no processo, pode se beneficiar da criação de ambientes de verdadeira regulação entre eles, situação que é fortemente constatada em bacias onde há escassez hídrica.

Nos ambientes de negociação, a utilização de modelos hidrológicos como ferramentas de apoio à decisão no planejamento e gestão dos recursos hídricos, tais como o WEAP (Water Evaluation And Planning System), se tornam fundamentais, uma vez que possibilitam a compreensão de variáveis que influenciam na demanda e disponibilidade de água, bem como avaliam, por meio de hipóteses alternativas, o impacto de novas políticas e abordagens regulatórias sobre os recursos disponíveis.

A Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), localizada na porção sudoeste do estado do Tocantins, caracteriza-se por conflitos pelo uso da água. Conforme IAC (2018), esses conflitos ocorrem durante o período seco (maio a novembro) entre agricultores que realizam atividade de irrigação, captando água dos rios por meio de bombas hidráulicas. Em junho de 2016, dois importantes rios da bacia, o Urubu e o Formoso, apresentaram uma severa redução do volume de água, levando à intervenção judicial.

Diante dessa situação, o Instituto de Atenção às Cidades (IAC), vinculado à Universidade Federal do Tocantins (UFT), atendendo à solicitação de apoio técnico do Poder Judiciário, desenvolveu o Projeto Gestão de Alto Nível (GAN), que implementou uma série de medidas para aprimorar a gestão dos recursos hídricos na bacia. Embora os resultados positivos tenham sido expressivos, a última fase do projeto, relacionada à revisão de outorgas e definição de regras de operação das bombas, não foi concluída. Tal fase se mostra fundamental, uma vez que foram identificadas inconsistências na aplicação do instrumento de outorga na região.

Como consequência, um Grupo de Trabalho (GT) foi criado em 2018 para elaborar um documento com a organização operacional das captações, especialmente durante o período crítico. Esse documento recebeu o nome de Plano do Biênio 2018-2019. Uma das propostas previstas nesse documento é a aplicação de regras de rodízio às bombas de captação durante o período seco, como forma de mitigar os efeitos da escassez hídrica na região. Porém, essas regras não chegaram a ser implementadas na bacia.

Assim, o presente estudo se propôs a realizar a simulação hidrológica da BHRF usando o WEAP e a modelar cenários de gestão nas áreas de conflito da bacia, considerando as regras de operação das bombas de captação estabelecidas pelo Plano do Biênio. O estudo também examinou, ao longo do mês de julho, a influência dessas regras sobre a vazão remanescente, num contexto de outorga coletiva, em que os usuários devem se comprometer com uma vazão ambiental mínima a ser mantida a jusante dos trechos críticos.

Essa dissertação está dividida em 5 capítulos. O capítulo 1, correspondente a este, é a introdução. O capítulo 2 apresenta os objetivos gerais e específicos da pesquisa. No capítulo 3 são desenvolvidas a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica. O capítulo 4 descreve a metodologia utilizada para a geração dos resultados, que são analisados no capítulo 5.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência das regras propostas pelo Plano do Biênio 2018-2019 sobre a vazão remanescente em regiões de conflito pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), considerando um contexto de outorga coletiva, em que uma vazão ambiental mínima deve ser preservada a jusante dos trechos críticos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a modelagem hidrológica da BHRF, através do WEAP, durante o período de julho de 2018 a junho de 2021
- Simular cenários baseados nas regras de operação das bombas de captação d'água, previstas no Plano do Biênio 2018-2019, para trechos críticos de rios da BHRF durante o mês de julho (período seco).
- Realizar uma análise comparativa entre as vazões remanescentes modeladas pelos cenários e confrontar os resultados com dois valores de vazão ambiental a serem preservados a jusante dos trechos críticos, um mais flexível, calculado a partir da Q90 sazonal, e outro mais conservador, determinado por meio da Q95 mensal.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: HISTÓRICO

A preocupação com o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil teve início no começo do século XX, período de criação das primeiras instituições públicas para tratar do tema (CASTRO, 2012). Conforme Murtha *et al.*(2015), esta necessidade partiu da convergência de fatores como a urbanização acelerada e o impressionante crescimento populacional, assim como o incremento da atividade industrial e o aproveitamento hidrelétrico.

A emergência desses fatores levaria a conflitos de natureza econômica e política de grande monta, exporia a carência regulatória no país e ensejaria, na década de 1930, a intervenção do governo central para organizar a gestão da água com procedimentos regulatórios e reordenamento administrativo (MURTHA *et al.*, 2015).

De acordo com Moura (2016), no final do século XIX, começou a haver uma expansão das cidades, com reflexos no agravamento dos problemas de saneamento e na situação de saúde da população, levando ao crescimento da participação da iniciativa privada no abastecimento de água potável, o que despertou os governos provinciais para a necessidade de uma organização dos serviços públicos de saneamento, que se deu por meio da concessão às empresas privadas estrangeiras.

Paralelamente, Moura (2016) explica que teve início uma incipiente e localizada atividade industrial no país, gerando demanda para a produção privada de energia elétrica a partir do aproveitamento dos potenciais hidráulicos - fato que é acelerado com a instalação da República - ao passo que começava a ganhar corpo a interferência da administração pública nesta atividade.

Porém, como relata ANA (2007), a Constituição impunha obstáculos às ações da administração pública no que se refere ao abastecimento de água e suprimento de energia elétrica. Isto porque o texto constitucional reconhecia o direito à propriedade privada em toda a sua plenitude e definia, restritivamente, os bens dos estados e da União, consagrando o direito de acessão, segundo o qual quaisquer acessórios, como recursos naturais no solo e subsolo, eram considerados inerentes à propriedade.

Ademais, ANA (2007) destaca que o interesse privado, alimentado por capitais estrangeiros, tinha forte tendência oligopolista e caráter de exploração extrativista, o que não gerava grandes preocupações por parte da administração central ou provincial,

caracterizando um cenário desprovido de uma gestão minimamente vinculada ao interesse público.

É diante deste cenário que começam a surgir conflitos. Murtha *et al.*(2015) destaca os mais significativos: (i) os desenvolvidos entre os entes federativos pela competência em regular o aproveitamento hidrelétrico; (ii) entre grandes trustes internacionais e o capital nacional para usufruir dos aproveitamentos hidrelétricos e serviços urbanos correlatos (LAMARÃO, 2002); (iii) entre o setor elétrico, seus associados da incorporação imobiliária e indústria de um lado, e o setor de abastecimento público do outro (SANTOS, 2006); e (iv) entre os produtores de energia e os industriais, por conta das tarifas elevadas.

Ante a reclamação que se generalizava, a administração federal percebeu a necessidade de criar novas instituições e estabelecer normas reguladoras, uma vez que os serviços concedidos permaneciam precários, carecendo, tanto os investidores quanto os consumidores de energia e os usuários da água, de instrumentos jurídicos condizentes com os novos tempos e com a necessidade de assegurar bases mais sólidas ao desenvolvimento nacional (ANA, 2007).

Desta forma, analisa Castro (2012), diversas comissões, que se tornaram embriões de vários órgãos federais, foram criadas para suprir as deficiências do Estado. Além disso, tiveram início os debates sobre as normas de regulamentação da propriedade e aproveitamento dos cursos d'água em todo o território nacional, que resultariam na elaboração do Código de Águas, em 1934.

Estabelecido pelo Decreto Presidencial 24.643, o Código de Águas de 1934 foi, de acordo com Rosa e Guarda (2019), a primeira legislação brasileira a se referir à água como objeto específico de lei. O regulamento, descreve Brasil (2003), é composto por um preâmbulo e 205 artigos divididos em três livros: Livro I – Águas em geral e sua propriedade; Livro II – Aproveitamento das Águas; e Livro III – Forças Hidráulicas – Regulamentação da Indústria Hidroelétrica.

De acordo com Parcio e Caramello (2021), boa parte dos dispositivos deste Decreto estão revogados. Entretanto, Milaré (2011) sinaliza que outros continuam em vigor, como por exemplo o art. 98, que proíbe as construções capazes de poluir ou inutilizar a água dos poços e nascentes, e os arts. 109 a 116, que tratam da poluição das águas e da responsabilidade dos poluidores, notadamente dos agricultores e industriais.

O Código de Águas de 1934 propiciou ao poder público e aos agentes interessados no uso das águas uma ação proativa com foco nas necessidades do país. O poder público,

em particular, foi o grande beneficiário de sua promulgação, uma vez que o domínio privado foi sensivelmente restringido. Exemplo disto foi a dissociação da propriedade das águas superficiais e a submissão das subterrâneas à intervenção da administração pública (Moura, 2016).

Segundo ANA (2007), o diploma legal instituiu, de forma precursora, o fundamento para os princípios do usuário-pagador e do poluidor-pagador. O primeiro, por enfatizar a preocupação com a exploração econômica das águas, como previsto no seu artigo 36 § 2º: “o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencem”, onde o uso retribuído se referia à cobrança pelo uso da água.

Já o segundo, por dedicar capítulo único às chamadas “Águas Nocivas”, que define normas para a proteção das águas quanto à contaminação, com dois artigos bastante representativos, o Art. 109 – “a ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros” – e o Art.110 – “os trabalhos para a salubridade das águas serão executados à custa dos infratores, que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas que lhes forem impostas nos regulamentos administrativos.

O Código criou três categorias de água: as águas públicas – subdivididas em águas de uso comum e águas dominiais – as águas comuns e as águas particulares. As águas públicas foram estabelecidas como sendo de propriedade da União, Estados e Municípios e as águas particulares seriam as nascentes e todas as águas situadas em terrenos que também o fossem, quando as mesmas não estivessem classificadas entre águas comuns de todos, águas públicas ou águas comuns.

Todas as três categorias estavam sujeitas a desapropriação por necessidade ou utilidade pública – seja pela União (todas elas), pelos Estados (águas dos Municípios e particulares) ou pelos Municípios (águas particulares) – desde que o serviço público estivesse classificado pela legislação vigente ou pelo Código.

O dispositivo assegurava o uso de qualquer nascente ou corrente de águas para as primeiras necessidades da vida. Paralelamente, autorizava a todos o proveito de quaisquer águas públicas, conforme regulamentos administrativos, desde que não causassem prejuízos à navegação, salvo no caso de uso para as primeiras necessidades da vida e no caso de lei especial que, atendendo a superior interesse público, o permitisse.

As águas públicas que dependessem de derivação para o uso estavam sujeitas a normas específicas dentro do Código. Elas não poderiam ser derivadas para aplicação na agricultura, indústria e higiene sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que seria dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes.

Adicionalmente, o dispositivo dava preferência, em qualquer hipótese, à derivação destinada ao abastecimento das populações; não conferia à autorização, sob nenhuma circunstância, delegação de poder público ao seu titular; e não permitia que as águas públicas destinadas a um fim fossem aplicadas a outro diverso, sem nova concessão.

Apesar das inovações trazidas pelo Código de Águas, os conflitos perduraram. Segundo ANA (2007), as causas foram o abalo imposto pelo virtual monopólio que dominava a indústria; a morosidade na edição de regulamentação para plena aplicação do Código de Águas, especialmente em matérias de natureza econômico-financeira; a anormalidade política decorrente da Revolução, associada a sucessivas alterações e crises institucionais da instável República; e a turbulência que se verificava na conjuntura internacional.

Dessa forma, no entender De Lima (1995), o adiamento das medidas que deveriam tornar o Código de Águas eficaz, levaram as intervenções públicas, na esfera federal, a assumirem sentido cada vez mais pragmático, diante das crises de energia elétrica nos principais centros de consumo, procedendo-se revisões frequentes do Código, principalmente no que dizia respeito aos aspectos econômico-financeiros de interesse das concessionárias.

Além disso, ANA (2020) acrescenta que a aplicação do Código se direcionou mais à parte referente aos usos energéticos, preterindo os demais usos. O Livro III foi regulamentado por diversas leis e demais normas, mas infelizmente não se pode dizer o mesmo da matéria contida nos Livros I e II (Pompeu, 2006).

De acordo com Moura (2016), em vista do cenário precário de abastecimento de água para a população, nos anos de 1940 tem início a comercialização dos serviços de saneamento e a criação de autarquias específicas para a sua administração, bem como os mecanismos de financiamento da atividade.

Nesse mesmo período, destaca De Paula (2015), são criadas duas agências governamentais com foco no aproveitamento econômico dos recursos do rio São Francisco: a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), em 1945, e a Comissão do Vale do

São Francisco (CVSF), em 1948, que atualmente é a Companhia de Desenvolvimento do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF).

Conforme ANA (2007), a criação da CHESF e CODEVASF ensejou a efetiva adoção do conceito de uso múltiplo integrado e a noção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, princípios que foram formalizados mais tarde pelo ordenamento jurídico.

Ademais, Henkes (2003) aponta a promulgação da Constituição de 1946 como importante agente na promoção de mudanças significativas no setor hídrico, a começar pela alteração da dominialidade da água, que deixou de pertencer aos Estados, Municípios e União, passando ao domínio da União e Estados, artigos 34 e 35 respectivamente. Henkes (2003) ainda destaca que esta constituição obrigou o Governo Federal a executar um plano de aproveitamento total das possibilidades econômicas do rio São Francisco e seus afluentes, com período de execução a se dar em 20 anos.

A década de 1950 é descrita por ANA (2007) como um momento marcado pela crise no abastecimento de energia, agravado por um período hidrológico extremamente desfavorável. Embora esta crise não tenha ensejado a dinamização de todos os setores que se valiam da água como insumo, foi fundamental para a estruturação do setor elétrico brasileiro, dando início ao extraordinário complexo de geração, transmissão e distribuição que se conhece hoje (Moura, 2016).

Em escala regional, mais precisamente no Nordeste brasileiro, as secas características da região se intensificaram e representaram um grande obstáculo para o desenvolvimento. De acordo com De Lima (2020), em 1958 tal cenário, somado ao contexto de altos níveis de inflação que assolavam a economia brasileira, agravaram a situação econômica do Nordeste.

Desta forma, De Lima (2020) acrescenta que a articulação de diferentes setores sociais, que partilhavam da preocupação com os altos níveis de pobreza existentes na região, principalmente em momentos de graves secas, contribuíram para a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) um ano mais tarde, em 1959.

Conforme Vidal (2001), a SUDENE tinha como propósito estudar e desenvolver diretrizes para o desenvolvimento do Nordeste, supervisionar e coordenar a elaboração de projetos que se relacionassem com o desenvolvimento da região, coordenar programas que visassem contribuir com assistência técnica e executar, sob convênio ou diretamente, acordos e contratos para o desenvolvimento nordestino.

A década de 1960 consolidou o desenvolvimento do setor elétrico, a partir da criação do Ministério de Minas e Energia (MME), da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras) e do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), este encarregado pela emissão de concessões e autorizações para a produção de energia elétrica (Moura, 2016).

De acordo com ANA (2007), em 1961 o DNPM, até então vinculado ao Ministério da Agricultura, passou a integrar o Ministério de Minas e Energia e, em 1965, o seu Serviço de Águas foi transformado no Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), posteriormente denominado Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), em 1968.

Ainda segundo ANA (2007), o DNAEE desempenhou, em âmbito federal, funções de gestão dos usos das águas e dos serviços de energia, o que levou, em certa medida, a uma subordinação da gestão das águas aos interesses dos serviços de energia elétrica, restringindo outros setores usuários, apesar das exigências acauteladoras determinadas pelo Código de Águas.

Entretanto, Moura (2016) ressalta que o DNAE, através da sua Divisão de Controle de Recursos Hídricos (DCRH), teve papel fundamental no início da implementação do conceito de comitês de bacia, bem como iniciou os primeiros contatos com entes governamentais franceses, com o propósito de conhecer o sistema de gerenciamento ali empregado, culminando na forte influência deste nas propostas concebidas para o caso brasileiro.

De acordo com Buriti e Barbosa (2014), a partir da década de 1970 a institucionalização das questões ambientais em âmbito internacional passou a ensejar o debate sobre temas pertinentes à gestão dos recursos hídricos no Brasil, sobretudo com a elaboração de leis ambientais, como é o caso da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), criada na década seguinte.

A Lei Federal nº 6.938, elaborada em 1981, estabeleceu a PNMA, bem como seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Além disso, constituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), criou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e deu outras providências.

Conforme Henkes (2003), a PNMA, posteriormente alterada pela Lei Federal nº 7.804/89, estabeleceu princípios que têm profundas implicações na proteção jurídica das águas, além de objetivos, tais como: a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente; o estabelecimento de critérios e

padrões de qualidade ambiental; e ainda, a definição de normas relativas ao uso e manejo sustentável dos recursos ambientais.

De fato, Henkes (2003) destaca que a PNMA resgatou do Código de Águas os princípios “usuário-pagador” e poluidor-pagador”; criou as reservas ecológicas e as áreas de relevante interesse ecológico; e, especificamente em relação ao setor hídrico, delegou ao CONAMA o estabelecimento de normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos.

Porém, significativas mudanças no arcabouço legal dos recursos hídricos só começam a se concretizar a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988 (CF/88). Para Muñoz (2000), esta Carta trouxe inovações muito importantes para o setor hídrico, tendo em vista que grande parte da legislação existente estava defasada por não dispor de instrumentos necessários à gestão.

A primeira mudança a se destacar é com relação à dominialidade da água, que passa a ser somente pública. Assim, segundo Barbosa e Barbosa (2013), se antes, com o Código de Águas de 1934, admitia-se a existência de águas públicas e privadas, com a CF/88, todos os preceitos legais que previam as águas como sendo particulares são revogados.

Ademais, Freitas (2000) acrescenta que a CF/88 amplia o domínio estadual, conferindo-lhe o domínio sobre as águas subterrâneas que anteriormente não tinham titular definido. A partir de então, pertencem aos Estados, além dos bens que já lhe pertenciam: "as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União" conforme disciplina o artigo 26, I (GRANZIEIRA, 2001).

Outro ponto que merece discussão é a delimitação das competências da União, dos Estados e do Distrito Federal no que se refere aos recursos hídricos. Conforme Henkes (2003), à União ficou delegada a competência para legislar sobre as águas (Direito das Águas) e energia, conforme o artigo 22 inciso IV, e aos Estados, a competência para legislar sobre o aproveitamento e utilização dos recursos hídricos sob seu domínio, segundo o artigo 26, inciso I e II, estando esta atribuição relacionada à definição de normas meramente administrativas.

Henkes (2003) ainda destaca a competência concorrente da União, Estados e Distrito Federal para legislar sobre florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do

solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição, conforme o artigo 24, inciso VI, da CF/88.

Sobre isto, Granziera (2001) esclarece que o entendimento que se tem é que à União compete o estabelecimento de normas gerais que, por razões de interesse público, devem ser estabelecidas igualmente para todas as unidades federativas, enquanto que aos Estado e Distrito Federal compete o detalhamento das normas gerais, adequando-as às peculiaridades locais.

A CF/88 também assegurou à União, Estados, Distrito Federal e Municípios, por meio do artigo 20 parágrafo 1, a compensação financeira ou participação no resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para a geração de energia elétrica e de outros recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva.

Por fim, é fundamental destacar da CF/88 o artigo 21, inciso XIX, que atribuiu à União a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) e a definição de critérios de outorga para o seu uso, duas propostas que trouxeram amplos avanços para a gestão dos recursos hídricos, mas que só se consolidaram mais tarde, a partir da instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), pela Lei Federal 9.433/1997, a ser discutida com mais profundidade no capítulo seguinte.

3.2. A LEI DAS ÁGUAS

A Lei nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas, é o arcabouço legal que regula e orienta a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Ela institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), conjunto de órgãos e colegiados que é responsável pela sua concepção e implementação.

A PNRH se sustenta nos seguintes fundamentos: i) a água é um bem de domínio público; ii) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; iii) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; iv) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; v) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e atuação do SINGREH; e vi) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e da comunidade.

A Lei das Águas estabelece como diretrizes gerais de ação para a implementação da PNRH: a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos qualitativos; a adequação da gestão às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país; integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental; a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com o planejamento regional, estadual e nacional; a articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo; e a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Os instrumentos da PNRH a serem aplicados pelo SINGREH para o alcance dos seus objetivos são: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; a compensação a municípios; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

3.2.1 Os fundamentos da PNRH

3.2.1.1 A água como bem de domínio público

Por meio do artigo 1, inciso I, a Lei Federal 9.433/97 define a água como um bem de domínio público, extinguindo a dominialidade privada prevista no Código de Águas de 1934. Conforme ANA (2020), tal fundamento reafirma caráter público da água estabelecido na Constituição Federal por meio dos artigos 20, inciso III, e 26, inciso I.

De acordo com Cunha *et al.* (2004), bens públicos são todos aqueles que pertencem às pessoas jurídicas de Direito Público, ou seja, à União, aos Estados, ao Distrito Federal, aos Municípios, às respectivas autarquias e às fundações de Direito Público, assim como aqueles que, embora não pertencentes a tais pessoas, estejam afetados à prestação de um serviço público. O conjunto de bens públicos forma o “domínio público”, que inclui tanto bens imóveis como móveis (MELLO, 2002).

A noção de domínio público é mais extensa que a de propriedade, pois se trata de uma relação de poder que o “Estado” exerce sobre os bens públicos ou particulares de interesse público que merecem sua proteção tendo vista o interesse da sociedade. (CUNHA *et al.*, 2004).

Nesse sentido, Machado (2002) afirma que a dominialidade pública da água, estabelecida pela Lei das Águas, não transforma o Poder Público Federal e Estadual em proprietário da água, mas torna-o gestor desse bem, no interesse da sociedade. Machado

(2002) ainda avalia que a água é inalienável, como indica o artigo 18 da Lei das Águas e, como tal, não pode ser caracterizada como um bem dominical – aquele que integra o patrimônio privado do Poder Público – já que este tem como peculiaridade a inalienabilidade.

3.2.1.2 A água como um bem dotado de valor econômico

A Lei das Águas consagra em seu artigo 1º, inciso II, a água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Segundo Ferreira e Ferreira (2006), por se tratar de um bem vulnerável, limitado em decorrência do seu mau uso e também pelo fato de sua renovação através do ciclo hidrológico muitas vezes não acompanhar as demandas crescentes, os recursos hídricos se distanciaram do status de bem livre e passaram a integrar o plano econômico.

A visão da água enquanto bem econômico se estabelece como princípio na Conferência Internacional sobre a Água e Meio Ambiente. Conforme descreve Aith e Rothbarth (2015), tal Conferência foi organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1992, na cidade de Dublin, na Irlanda, e tratou pela primeira vez da necessidade dos países exercerem uma eficiente gestão dos recursos hídricos, a partir da ideia de que a escassez e o mau uso da água doce são fatores de grande e crescente risco ao desenvolvimento sustentável e à proteção do meio ambiente.

Aith e Rothbarth (2015) explicam que a conferência resultou na Declaração de Dublin, documento que definiu quatro princípios básicos, dos quais, destaca-se o princípio I, que estabeleceu a água como um bem finito e essencial para a continuidade da espécie humana, e o princípio IV, que reconheceu a água como um bem econômico.

De acordo com ANA (2020), a valoração econômica dos recursos hídricos se fundamenta na ideia de que seu mau uso está vinculado à sua gratuidade e, desta forma, por ter um custo zero, os usuários não teriam a preocupação em definir limites e abusariam do consumo. A atribuição de um valor econômico contribuiria para gerar a percepção da escassez e, conseqüentemente, um uso mais racional do recurso, que atenderia aos princípios do usuário pagador e do poluidor pagador (Barros e Amin, 2007).

Para Ferreira e Ferreira (2006), ao se atribuir um valor econômico aos recursos hídricos, procura-se estabelecer critérios para o seu uso, garantindo o seu acesso às presentes e futuras gerações. Na mesma visão de Barros e Amin (2007), Ferreira e Ferreira (2006) ainda acreditam que tal fundamento possibilita que o usuário identifique o seu real valor e

as consequências para a sociedade, de tal forma que isto possa incentivar uma mudança de comportamento, no sentido de evitar o desperdício e conscientizar quanto à necessidade do uso racional da água.

Por fim, Machado (2013) avalia que a valoração econômica dos recursos hídricos deve considerar o preço da conservação, da recuperação e da melhor distribuição desse bem. Ademais, ANA (2020) ressalta que o pagamento pelo uso da água é uma forma de oferecer uma contraprestação à sociedade pela utilização de um recurso que pertence a todos e representa a base para a aplicação do instrumento de cobrança, que será abordado mais adiante.

3.2.1.3 Uso prioritário das águas

Em situações de escassez, a Lei Federal 9.433/97 garante ao consumo humano e à dessedentação de animais o uso prioritário dos recursos hídricos, conforme o artigo 1º, inciso III. Em condições normais, a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, como estabelece o artigo 1º, inciso IV, da referida lei, tendo em vista a variedade de modalidades de uso da água.

Em situações de escassez hídrica, as outorgas de direito de uso da água se tornam passíveis de alterações ou suspensões. A Lei das Águas estabelece no artigo 15º, inciso V, que a outorga poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, quando for necessário atender a usos prioritários (consumo humano e dessedentação de animais), de interesse coletivo, para os quais não se disponha de alternativas.

Machado (2013) esclarece que no consumo humano estará compreendido somente o uso para as necessidades mínimas de cada indivíduo – água para beber, comer e higiene – não estando incluído o uso para o lazer, como piscinas e jardinagem. Sobre os animais, Machado (2013) explica que a eles é assegurada a dessedentação, entretanto não constitui prioridade a utilização de água para o abate e a comercialização deles.

Esta proteção oferecida à satisfação das necessidades básicas, através do consumo da água, visa garantir o preceito constitucional da dignidade da vida humana, pois, por ser uma necessidade metabólica do corpo humano, seu consumo caracteriza-se como um direito fundamental, corolário do direito à vida, sendo condição prévia para o exercício de outros direitos fundamentais do homem (Ferreira e Ferreira, 2006).

Segundo ANA (2020), o fundamento da prioridade de consumo foi bastante debatido em 2014 e 2015, período em que racionamentos foram impostos à população em decorrência das secas. Para Caubet (2004), tal fundamento enfrenta duas dificuldades jurídicas: a primeira referente à falta de parâmetros jurídicos para estabelecer o que é um cenário de escassez, dependendo da atuação discricionária do Poder Público, e a segunda diz respeito à quantidade de água que deveria ser distribuída à população nesses casos.

Porém, o entendimento de Machado (2013) é de que a atuação do órgão público, frente à administração das outorgas em períodos de escassez para atendimento dos usos prioritários, deve se afastar da discricionariedade – ainda que esteja escrito no caput do artigo 15 que a “outorga de direito de uso dos recursos hídricos poderá ser suspensa...” – e agir vinculadamente ao princípio apontado no artigo 1º, inciso III. Machado (2013) conclui afirmando que a inação da Administração Pública incumbirá ao Poder Judiciário agir, através de ação judicial.

3.2.1.4 Usos múltiplos das águas

A Lei das Águas determina, através do artigo 1º, inciso IV, que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar os usos múltiplos da água. De acordo com Ferreira e Ferreira (2006), a proteção deste fundamento é consequência direta da vasta cadeia de utilidades e consumidores abrangidos pelo recurso, sendo considerado como usuário, nos termos do artigo 2º, XXIX, da Instituição Normativa nº 04/2000 do Ministério do Meio Ambiente (MMA), toda pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que faça uso de recursos hídricos que dependem ou independem de outorga.

Sobre as diversas modalidades de uso da água, Maciel Jr. (2000) descreve que estas podem ser classificadas em: uso consuntivo, sendo aquele uso que retira a água de sua fonte natural, causando uma diminuição em sua disponibilidade espacial e temporal, como por exemplo, irrigação e uso industrial; e uso não consuntivo, quando a utilização retorna quase que a totalidade de água usada à sua fonte de suprimento, acarretando apenas uma modificação temporal em sua disponibilidade, como nos casos da navegação e recreação.

Cabe ressaltar, segundo o exposto por ANA (2020), que a Lei das Águas não estabelece prioridades entre os usos múltiplos, de forma que esta escolha será negociada através de uma gestão descentralizada, desempenhada pelos Comitês de Bacia, que analisam a situação fática e determinam a melhor forma de otimizar o uso da água, de forma a beneficiar o maior número de usuários.

Ademais, Machado (2013) destaca que é vedado por lei o privilégio de um uso ou somente alguns usos, pois o estudo da viabilidade ecológica da outorga de vários e concomitantes direitos de uso é matéria imperativa, tendo em vista não só o artigo 1º, inciso IV, como também o artigo 13º, parágrafo único, que afirma: “A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo destes”.

Assim, Machado (2013) conclui que ao Poder Público está claramente proibida a outorga de direito de uso que somente possibilite um único uso das águas, devendo ser anulados, administrativa ou judicialmente, atos de outorga de direito de uso e planos de recursos hídricos que ofendam essas normas legais

3.2.1.5 A bacia hidrográfica como unidade de gestão

A Lei das Águas, em seu artigo 1, inciso V, adota a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão das águas. Machado (2013) explica que, apesar das águas do Brasil estarem sob domínio ou da União ou dos Estados, a implementação da política nacional e estadual dos recursos hídricos não será embasada nos limites destes, mas sim nos limites da bacia hidrográfica, unidade territorial de aplicação do quadro normativo hídrico.

A bacia hidrográfica é uma área de captação superficial da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (Tucci, 2001).

Apesar da inovação que este fundamento trouxe à PNRH, ANA (2020) destaca que esta escala territorial já havia sido adotada pela Política Agrícola, disposta na Lei nº 8.171/91, que definiu no artigo 20: “As bacias hidrográficas constituem-se em unidades básicas de planejamento do uso, da conservação e da recuperação dos recursos naturais.

Na visão de Ferreira e Ferreira (2006), a escolha pela bacia hidrográfica como unidade básica de gestão tem como propósito adequar a legislação e a estrutura institucional às condições fisicoterritoriais do ambiente, trazendo também o planejamento para mais próximo dos interesses envolvidos. Adicionalmente, Rebouças (2003) argumenta que o estabelecimento dos limites da bacia como perímetro da área a ser planejada facilita o confronto entre as disponibilidades e demandas, essencial para o estabelecimento do balanço hídrico.

Por fim, ANA (2020) avalia que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão possibilita a adoção de uma visão sistêmica dos recursos hídricos, incorporando

aspectos ambientais, sociais e econômicos, assim como incentiva a descentralização da gestão, permitindo o envolvimento dos atores sociais que utilizam os recursos hídricos em um determinado território.

3.2.1.6 Gestão descentralizada e participativa

A Lei das Águas estabelece, por meio do artigo 1º, inciso VI, que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e da comunidade. O caráter da água como um bem social indispensável para a realização de variadas atividades, como também para a sobrevivência humana, ampara a previsão de descentralização e da participação nos processos de gestão (Ferreira E Ferreira, 2006).

Conforme Agrawal e Ribot (2000), a descentralização política é definida como qualquer ato no qual um governo central transfere formalmente poder de decisão a agentes e instituições de níveis inferiores em uma hierarquia político-administrativa e territorial. Agrawal e Ribot (2000) ressaltam que tal definição não representa uma descentralização administrativa, onde os atores locais permanecem subordinados ao poder central, mas sim a atribuição de autonomia a uma variedade de atores num ambiente de tomada de decisão.

Quanto à gestão participativa, esta constitui um método que enseja aos usuários, à sociedade civil organizada, às Organizações Não Governamentais (ONGs) e outros agentes interessados a possibilidade de influenciar no processo da tomada de decisão sobre investimentos e outras formas de intervenção na bacia hidrográfica em apreço (Rebouças, 2003). Para que esta gestão se mantenha, Machado (2013) argumenta que é necessário que o controle social encontre formas de divulgação contínua e organizada de informações, sob risco de destruí-la ou torná-la ineficaz.

Na avaliação de ANA (2020), a estratégia adotada para promoção da gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos se baseia na criação de dois entes públicos na escala de cada bacia: as agências de água e os comitês de bacia hidrográfica. Isto porque, conforme descreve Abers e Jorge (2005), os comitês de bacia hidrográfica são constituídos por representantes do poder público, usuários e sociedade civil, além de terem poder deliberativo, enquanto as agências de água assumem o papel de braços executivos do comitê, dando apoio técnico e administrativo ao processo decisório.

Neste sentido, sob a perspectiva Machado (2013), a descentralização deve se efetivar através transferência de atribuições ou poderes tradicionais da União e dos Estados – estes representados pelos Conselhos Nacionais e Estaduais de Recursos Hídricos – para órgãos da

base do SINGREH, ou seja, as agências de água e os comitês de bacia. Isto possibilita um processo participativo nas deliberações acerca do manejo dos recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica.

3.2.2 Aspectos legais da outorga

A Lei Federal 9.433/1997 estabelece a Outorga de Direitos de Uso de Recursos Hídricos como um dos instrumentos da PNRH. Segundo a Instrução Normativa nº4/2000 da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, este instrumento é o ato administrativo de autorização, mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado o direito de uso de recursos hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

De acordo De Almeida (2003), tal ato não acarreta em alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso, em virtude do princípio constitucional de defesa do meio ambiente (artigo 23, inciso VI, da CF/88), alçado à categoria de bem de uso comum do povo (artigo 225 da CF/88). Hardin (1968) demonstrou que, para bens desta natureza, a falta de regulação pode levar a uma superalocação do recurso, levando à chamada “tragédia do bem comum” (ANA, 2019).

Os objetivos da outorga, segundo o artigo 11 da Lei das Águas, são assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso a ela. Para que isso seja possível, é fundamental o conhecimento dos impactos quali-quantitativos de cada usuário e, principalmente, a sistematização da avaliação cumulativa desses impactos sobre o corpo de água (SILVA E MONTEIRO, 2004).

Na mesma linha, Pereira e Johnson (2004) afirmam que a garantia do uso ou da disponibilidade dos recursos hídricos só se efetivará através da gestão integrada a nível de sub-bacia, onde a outorga demanda do sistema de informações dados relativos à qualidade e disponibilidade hídrica, os quais, juntamente com o cadastro de usuários, constituem insumos fundamentais para seu exame e concessão.

A definição da outorga de da respectiva vazão outorgável (quantidade de água a ser disponibilizada para os diversos usos), para além de critérios meramente hidrológicos, deve levar em conta as opções e as metas de desenvolvimento social e econômico que se pretende atingir, considerando os múltiplos usos, capacidade de suporte do ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável (ANA, 2011).

Nos termos do artigo 12 da Lei 9.433/1997, os seguintes usos estão sujeitos a outorga pelo Poder Público: derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpos de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água

No § 1º do referido artigo, são definidos os usos que independem de outorga pelo Poder Público. São eles: usos destinados à satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; e as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

Independentemente se o uso da água requer ou não a outorga, o usuário deve realizar o cadastramento do seu uso inserindo todas as informações solicitadas em sistema de cadastramento de usuários de recursos hídricos, seja estadual ou nacional, a depender da dominialidade do curso d'água em que o uso se realiza. O número de usuários de água regularizados compreende aqueles que receberam a outorga de direito de uso de recursos hídricos, bem como aqueles cujo uso da água é considerado insignificante, mas que encontram-se cadastrados por determinação legal (ANA, 2019).

A legislação de recursos hídricos, em seu artigo 15, relaciona as circunstâncias em que a outorga poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado. São elas: não cumprimento dos termos da outorga pelo outorgado; ausência de uso por três anos consecutivos; necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, incluindo as decorrentes de condições climáticas adversas; necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental; necessidade de atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; e necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água.

È cabível suspender as outorgas, em razão do interesse público geral, quando circunstâncias externas a elas acarretarem dificuldades para o poder público no que diz respeito ao gerenciamento do balanço hídrico, sendo aplicável também quando a ocorrência afetar o aspecto de qualidade dos recursos hídricos (De Almeida, 2003; Granzieira, 2001).

A competência para a emissão dos atos de outorga obedece à dominialidade constitucionalmente estabelecida, assim, a outorga das águas superficiais é de competência

da União, dos Estados e do Distrito Federal, e a das águas subterrâneas, dos Estados e do Distrito Federal. Quanto às águas minerais, a competência é atribuída ao Departamento Mineral de Produção Mineral (DNPM), vinculado ao Ministério de Minas e Energia (De Almeida, 2003).

Assim, nos termos do artigo 20, inciso III, da CF/1988 e do artigo 29, inciso II, da Lei das Águas, compete ao Poder Executivo Federal outorgar os direitos de uso de recursos hídricos, bem como regulamentar e fiscalizar os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio ou que banhem mais de um Estado e sirvam de limites com outros países ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham

Por fim, com base nos artigo 26, inciso I, da CF/88 e no artigo 30, inciso I, da Lei das Águas, é competência dos Poderes Executivos Estaduais e do Distrito Federal outorgar os direitos de uso de recursos hídricos, assim como regulamentar e fiscalizar as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

De acordo com o artigo 14, § 1º, o Poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal competência para conceder outorga de direito de uso de recurso hídrico de domínio da União.

A delegação da outorga do uso do recurso hídrico pela União não a libera da responsabilidade de zelar pela correta implementação da outorga, visto que por força constitucional, a responsabilidade originária sobre o bom uso dos rios federais é dela. Além disso a transferência do poder de outorga está condicionada à verificação da existência, nos Estados e no Distrito Federal, das condições administrativas para a perfeita execução das atribuições delegadas (De Almeida, 2003; Machado, 2013).

Machado (2013) ainda salienta que, por prudência e eficácia no controle da outorga, a União deve conservar sob sua competência, quando houver conflito, rio Federal que banhe dois ou mais Estados, exercendo uma função pacificadora e integradora nessa área da bacia hidrográfica.

3.3. A OUTORGA COLETIVA DA ÁGUA

Nos últimos anos, como forma de simplificar a aplicação do instrumento da outorga em bacias hidrográficas, tem-se adotado uma variante desse instrumento, denominada outorga coletiva. Apesar de não constar a sua definição em algum texto legal, a expressão “outorga coletiva” ou “outorga em lote” é utilizada pela Agência Nacional de Águas e

Saneamento (ANA) para referir-se a um ato da autoridade outorgante, onde são outorgados diversos usuários e suas respectivas utilizações dos recursos hídricos. Apesar de ser uma única resolução, a responsabilidade é individualizada, ou seja, cada usuário relacionado é individualmente responsável pelo uso que lhe foi outorgado (ANA, 2013).

Essa modalidade de outorga vem sendo comumente utilizada em microbacias onde há conflitos pelo uso da água, como forma de simplificar, pelo menos em algumas circunstâncias, os requisitos de gestão. Ela pressupõe a transferência da responsabilidade gerencial para os usuários, organizados em associações ou alguma outra entidade, de forma que os gestores dos recursos se ocupem apenas de assegurar o cumprimento da outorga coletiva e não o uso de água por usuários individuais (OCDE, 2015; Marques e Teixeira, 2019).

Na avaliação de OCDE (2015), essa abordagem, sob a perspectiva dos órgãos ambientais, é bastante vantajosa em termos de economia de tempo e custo, uma vez que ela reduz os pontos de controle. Além do mais, oferece uma oportunidade de promover uma cultura de entendimento entre os usuários, pois aumenta a noção de que a alocação de água é um jogo de soma zero, em que os usuários que captam mais do que o autorizado, acabam por restringir o suprimento de água justamente alocado aos demais.

De acordo com Marques e Teixeira (2019), é comum, nas outorgas coletivas, a determinação de uma vazão residual que deve permanecer após descontadas as captações de montante. É esta a vazão que deve ser respeitada em uma outorga coletiva, sendo definida, normalmente, para a foz de uma microbacia, visando garantir o funcionamento do ecossistema e os demais usos a jusante. Assim, a vazão disponível para distribuição entre os usuários de uma outorga coletiva é toda a vazão que excede a vazão residual num dado momento.

Desse modo, Marcos e Teixeira (2019) acreditam que o cálculo é mais justo e possibilita que o valor da vazão residual seja atualizado ao longo do tempo, buscando vazões mais ou menos restritivas de forma atenuar os impactos da sazonalidade e eventos naturais extremos. De acordo com OCDE (2015), alguns pré-requisitos podem contribuir para a implementação exitosa da outorga coletiva. São eles:

- Um grupo relativamente homogêneo de usuários com interesses comuns
- O grupos de usuários precisa estar em um mesmo trecho de bacia hidrográfica que permita estabelecimento da alocação coletiva, para que seja possível

determinar se o grupo cumpriu com sua outorga por meio de monitoramento de vazões de entrada e saída da região

- Capacidade de fazer cumprir, seja contra o coletivo ou contra indivíduos em nome do coletivo
- Existência de uma entidade legal que assuma a responsabilidade de gerenciamento e detenha a outorga coletiva

Cabe destacar que a implementação da outorga em lote deve contar com o apoio e o comprometimento dos usuários de água. Para que isso aconteça, OCDE (2015) destaca que é necessário dar incentivos, uma vez que a implementação dessa modalidade de outorga não elimina a necessidade de gestão dos recursos hídricos, mas sim transfere essa responsabilidade aos usuários, de modo que haverá um custo para a operação do coletivo. Assim, os benefícios, como por exemplo o aumento da flexibilidade, devem ser suficientes para que os usuários se desliguem dos arranjos tradicionais.

3.3.1 Modalidades de outorga coletiva

Segundo ANA (2013), é possível distinguir duas modalidades de outorga coletiva, sem excluir outras. Na primeira, é realizada uma Campanha de Regularização de Uso em determinada bacia hidrográfica e, posteriormente, publicada uma resolução listando os usuários, os respectivos empreendimentos e usos e a validade das outorgas preventivas ou de direito de uso dos recursos hídricos.

Um exemplo dessa aplicação pode ser verificado na Resolução ANA n° 860/2011, que trata de outorgas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, que se distribui entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Nela, constam diversos usuários outorgados que tiveram que responder por qualquer uso indevido da outorga e puderam solicitar renovações mediante notificação da ANA, com antecedência mínima de noventa dias do término da sua validade, conforme a Resolução ANA n°833/2011 (ANA, 2013; ANA, 2015).

A segunda modalidade é aquela em que, após a definição de um Marco Regulatório ou Alocação Negociada de Água, é publicada uma resolução outorgando diversos usuários, estando todos comprometidos com uma vazão máxima a ser utilizada. As outorgas deste tipo

de resolução têm um prazo comum de vigência e o percentual de água alocado para cada um dos usuários pode ser renegociado anualmente (ANA, 2011; ANA, 2013).

Os marcos regulatórios são responsáveis pela criação de um ambiente que concilie as necessidades dos usos e usuários de recursos hídricos. Trata-se de um conjunto de especificidades e direcionamentos gerais, definidos e implantados após discussões com usuários, comitês e órgãos ambientais de uma determinada bacia, para regularizar e aplicar instrumentos de gestão previstos na Política das Águas (ANA, 2017).

Já a Alocação Negociada de Água é conceitualmente descrita por Spolidório (2017) como um conjunto de processos e instrumentos utilizados para o compartilhamento dos recursos hídricos entre os diversos segmentos de usuários, que busca, ao máximo, aproveitar as oportunidades de desenvolvimento econômico, proteção do meio ambiente e uso racional dos recursos. Para a sua consistência, Spolidório (2017) ressalta que é imprescindível que o processo não se restrinja ao aspectos meramente técnicos, em uma postura unilateral do Poder Público, mas que garanta a participação social na definição dos critérios e nos parâmetros das negociações que alocam água entre os diversos setores.

Um exemplo de aplicação dessa modalidade de outorga ocorre em Minas Gerais. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) é o órgão responsável pela operacionalização das outorgas no estado, cabendo a ele a análise das outorgas de empreendimentos ou atividades não passíveis de licenciamento ambiental, bem como daquelas vinculadas aos processos de Licença Ambiental Simplificada (IGAM, 2007; IGAMa, 2021).

O processo de outorga coletiva no estado tem início com a emissão da Declaração de Área de Conflito (DAC), que é emitida pelo IGAM quando confirmada situação de indisponibilidade hídrica superficial em determinada porção do território, após a aferição pelo balanço hídrico de vazões outorgadas, como prevê o Decreto Estadual nº 47.705/2019. Após isso, é criado processo único, seguido de portaria única com todas as outorgas individuais que estavam vigentes, assim como aquelas que estavam em análise (IGAM, 2020; IGAMb, 2021)

Posteriormente, é estabelecida a Comissão Gestora Local (CGL), composta por todos os usuários de recursos hídricos superficiais consuntivos, outorgados ou outorgáveis, inseridos em áreas com DAC, cujo o objetivo é propor o Termo de Alocação de Água (TAC) – base para a formalização de um processo de outorga no estado – e gerenciar a alocação dos recursos hídricos na sua área de abrangência. As CGLs tem como propósito ampliar a

participação dos usuários na gestão dos recursos hídricos e diminuir os conflitos pelo uso da água nos DACs (IGAMa, 2021; IGAMb, 2021).

O Plenário da CGL deverá deliberar sobre a proposta do TAC, em reunião convocada para esse propósito. Não havendo consenso entre os usuários, ou seja, a aprovação da proposta por unanimidade, o comitê de bacia deverá aprovar uma proposta de alocação para que o processo possa seguir para decisão do IGAM (IGAM, 2007; IGAMa, 2021).

De acordo com SRH-CE (2017), existem outras situações, além das duas mencionadas, em que a outorga coletiva pode ser emitida, como por exemplo, para usuários de uma mesma bacia regularizados em um período comum, com o objetivo de eliminar passivos de pedidos de outorga.

3.4. WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM – WEAP

Os desafios de gestão de água doce são comuns entre vários países. A alocação de recursos hídricos entre as atividades agrícolas e ambientais requer a integração de todos os aspectos qualitativos, ecológicos, de demanda e oferta de água. O Sistema de Avaliação e Planejamento Hídrico, conhecido como WEAP (que em inglês significa “*Water Evaluation And Planning System*”), tem como objetivo a incorporação de tais questões por ser uma ferramenta que, apesar de prática, é potente (SEI, 2022).

De acordo com SEI (2015), o WEAP, criado pelo Stockholm Environment Institute (SEI), é um instrumento prático para a gestão e planejamento de recursos hídricos e análise de políticas, que incorpora uma visão integrada do desenvolvimento de recursos hídricos, na medida em que coloca projetos de fornecimento de água no contexto de gerenciamento da demanda, qualidade da água e preservação e proteção de ecossistemas.

Operando com base no princípio da contabilidade do balanço hídrico, o WEAP é aplicável a sistemas municipais e agrícolas, sub-bacias únicas ou sistemas fluviais complexos. Além disso, o WEAP pode abordar uma ampla gama de questões, por exemplo, análises de demanda setorial, conservação da água, direitos sobre a água e prioridades de alocação, simulações de águas subterrâneas e fluxos, operações de reservatórios, geração de energia hidrelétrica e demandas de energia, rastreamento de poluição, requisitos do ecossistema e análises de custo-benefício do projeto (SIEBER, 2006).

O analista representa o sistema em termos de suas várias fontes de abastecimento (por exemplo, rios, riachos, águas subterrâneas, reservatórios); instalações de captação, transmissão e tratamento de águas residuais; requisitos do ecossistema, demandas de água e geração de poluição. A estrutura de dados e o nível de detalhe podem ser facilmente

personalizados para atender aos requisitos de uma análise específica e refletir os limites impostos por dados restritos. O uso do WEAP geralmente inclui várias etapas (SEI, 2022):

- Definição do estudo: o espaço de tempo, os limites espaciais, os componentes do sistema e a configuração do problema são estabelecidos;
- Contas Atuais (Current Accounts): uma visão instantânea da demanda de água, cargas de poluição, recursos e fontes para o sistema são desenvolvidos. Isto pode parecer como uma calibração no desenvolvimento de uma aplicação
- Cenários: Um conjunto de hipóteses alternativas sobre impactos futuros de regulamentações, custos, e clima, por exemplo, na demanda de água, fornecimento, hidrologia e poluição podem ser explorados
- Avaliação: os cenários são avaliados com relação à suficiência hídrica, custos e benefícios, compatibilidade com os padrões ambientais, e a sensibilidade a incertezas de variáveis predominantes

A definição do estudo no sistema WEAP envolve a delimitação temporal, que estabelece o período e passo de tempo (diário, mensal ou anual) da modelagem, bem como o início do ano hidrológico; a delimitação espacial, que define os limites da área de estudo em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG); e o estabelecimento dos componentes do sistema – abordado com mais detalhes no sub-item 4.3 – e configurações do problema.

Após esta etapa, é realizada a construção de Contas Correntes (Current Accounts). Conforme SEI (2015), Contas Correntes representa a definição básica do sistema de água tal como ele existe atualmente e forma a base de todas as análises de cenários, cujo o estabelecimento requer que o usuário “ calibre” os dados e suposições do sistema a um ponto que expresse com precisão suas operações observadas. Em outras palavras, Contas Correntes pode ser entendido como um cenário base, que deve modelar, da melhor forma possível (calibração), o sistema de água tal como ele é, a partir do qual todos os cenários construídos posteriormente irão derivar.

Conforme Sieber (2006), os cenários são constituídos por conjuntos alternativos de suposições ou políticas, que são avaliados quanto à disponibilidade hídrica, custos e benefícios, compatibilidade com metas ambientais e sensibilidade a incertezas em variáveis-chave. Os cenários podem abordar uma ampla gama de questões do tipo “e se”, tais como (SEI, 2015):

- E se os padrões de crescimento populacional e desenvolvimento econômico mudarem?
- E se as regras de operação de reservatórios forem alteradas?
- E se as águas subterrâneas forem mais bem exploradas?
- E se a conservação da água for introduzida?
- E se os requisitos do ecossistema forem mais rigorosos?
- E se novas fontes de poluição forem adicionadas?
- E se for implementado um programa de reuso da água?
- E se for implementada uma técnica de irrigação mais eficiente?
- E se as culturas agrícolas mudarem?
- E se as mudanças climáticas alterarem a hidrologia?

Os subitens 3.5.1 e 3.5.2 apresentam, respectivamente, a estrutura do WEAP, sob controle do usuário, onde são aplicadas cada uma das etapas de modelagem supracitadas; e o Método de Umidade do Solo (Soil Moisture Method), vinculado ao WEAP, que simula processos hidrológicos e de demandas de irrigação em uma bacia hidrográfica e que foi empregado na modelagem da BHRF.

3.4.1 Estrutura do WEAP

Conforme SEI (2015), o WEAP se estrutura como um conjunto de cinco diferentes formas de “visualização” de um sistema de água. São elas: Visualização Esquemática (Schematic View), Visualização de Dados (Data View), Visualização de Resultados (Results View), Explorador de Cenários (Scenario Explorer View) e Notas (Notes View). Estas visualizações estão listadas como ícones gráficos na barra de visualizações localizada à esquerda da tela, conforme mostra a Figura 1.

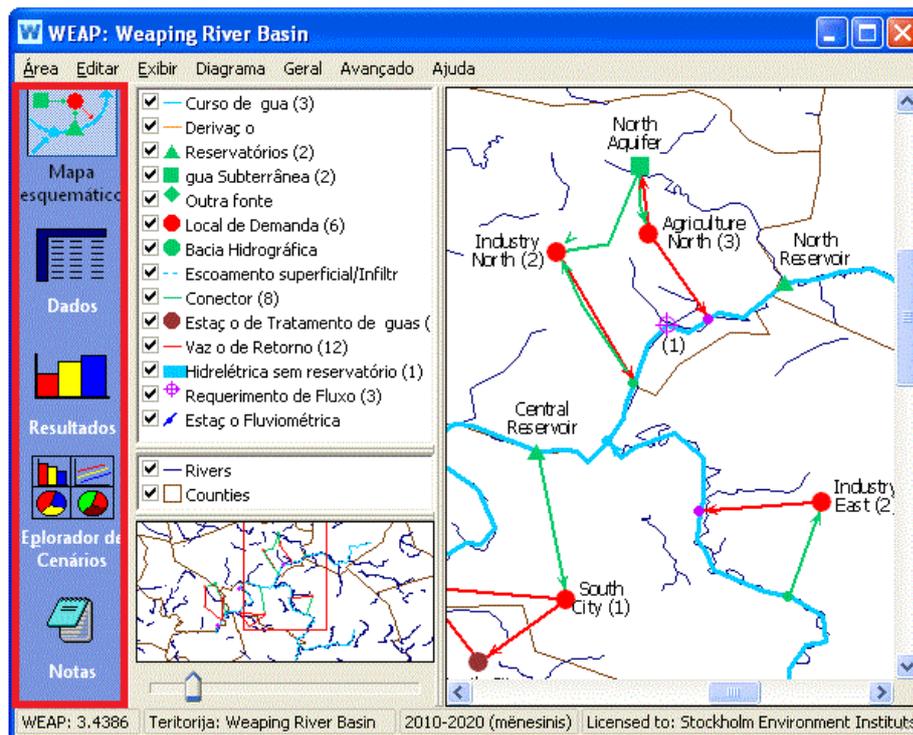


Figura 1 - Layout do WEAP e identificação dos tipos de visualização do sistema.
Fonte: SEI (2015).

De acordo com Fard e Sarjoughian (2020), em Visualização Esquemática é definida a estrutura do modelo com as entidades e suas conexões; posteriormente, os dados de entrada são inseridos em Visualização de Dados; e por fim, após a execução da simulação, os dados de saída são observados em Visualização de Resultados.

As visualizações Explorador de Cenários e Notas funcionam como ferramentas auxiliares. Fard e Sarjoughian (2020) destacam que estas ferramentas não têm nenhum impacto na estrutura ou comportamento de um modelo no sistema WEAP. Segundo SEI (2016), enquanto Explorador de Cenários destaca os principais dados e resultados em seu sistema para uma visualização rápida, em Notas é possível documentar dados e suposições. Desta forma, os itens a seguir focarão em apresentar, com mais detalhes, as visualizações: Esquemática, de Dados e de Resultados

3.4.1.1 Visualização Esquemática (Schematic View)

De acordo com SEI (2015), a Visualização Esquemática representa o ponto de partida para todas as atividades no WEAP, onde é possível descrever e visualizar as características

físicas de um sistema de demanda e fornecimento de água. A representação dos seus elementos é feita através de nós (entidades) e arcos (conexões).

Os nós indicam elementos tais como pontos de demanda, reservatórios, bacias hidrográficas, estações de tratamento de água, aquíferos subterrâneos, estações fluviométricas e requisitos de fluxo. Os arcos estabelecem conexões entre os nós e representam rios, ligações de transmissão, derivações, escoamentos superficiais e fluxos de retorno. A Figura 2 apresenta a interface do Mapa Esquemático no WEAP, bem como os respectivos nós e arcos utilizados para a representação dos componentes de um sistema de água (caixa vermelha).

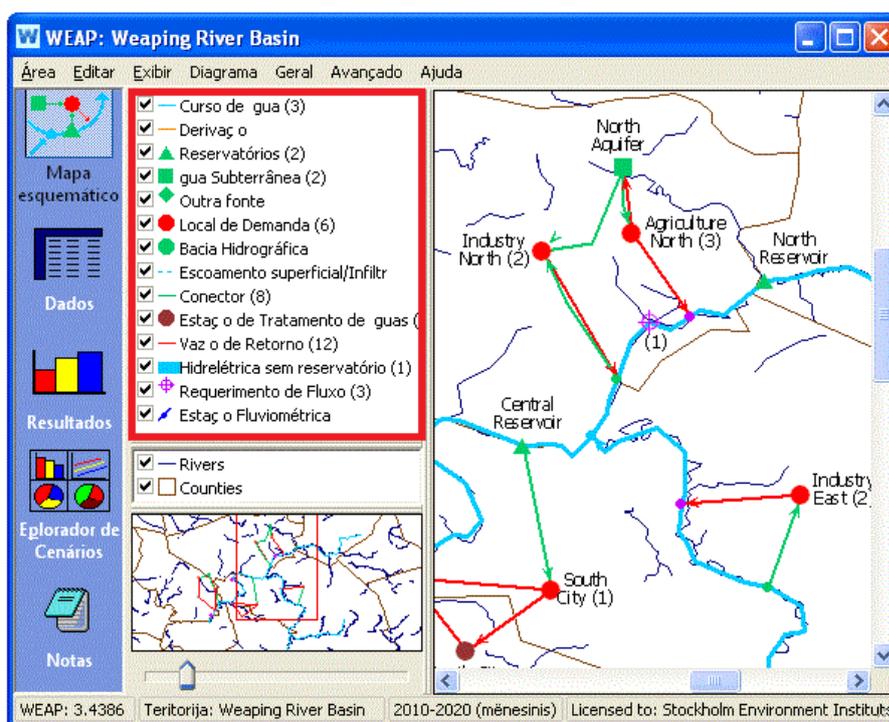


Figura 2 - Interface do Mapa Esquemático no WEAP e identificação dos componentes (nós e arcos). Fonte: SEI (2015).

Cada nó e link no WEAP tem uma equação de balanço de massa, sendo que alguns destes apresentam equações adicionais que restringem seus fluxos (por exemplo, os fluxos de entrada para um local de demanda não podem exceder sua necessidade de suprimento, os fluxos de saída de um aquífero não podem exceder sua retirada máxima, as perdas nas ligações representam uma fração do fluxo, etc) (SEI, 2015).

3.4.1.2 Visualização de Dados (Data View)

A segunda forma de visualização de um sistema de água no WEAP é através do ícone Visualização de Dados (Data View). Nele é possível criar, para cada um dos elementos estabelecidos em Visualização Esquemática, variáveis e relacionamentos, inserir suposições e projeções usando expressões matemáticas, além de vincular arquivos externos, como por exemplo arquivos de dados CSV ou Excel (Kirilov Bournaski, 2019; Fard e Sarjoughian, 2020). A Figura 3 apresenta a interface de Dados, constituída por 3 painéis (caixas azuis) que se relacionam.

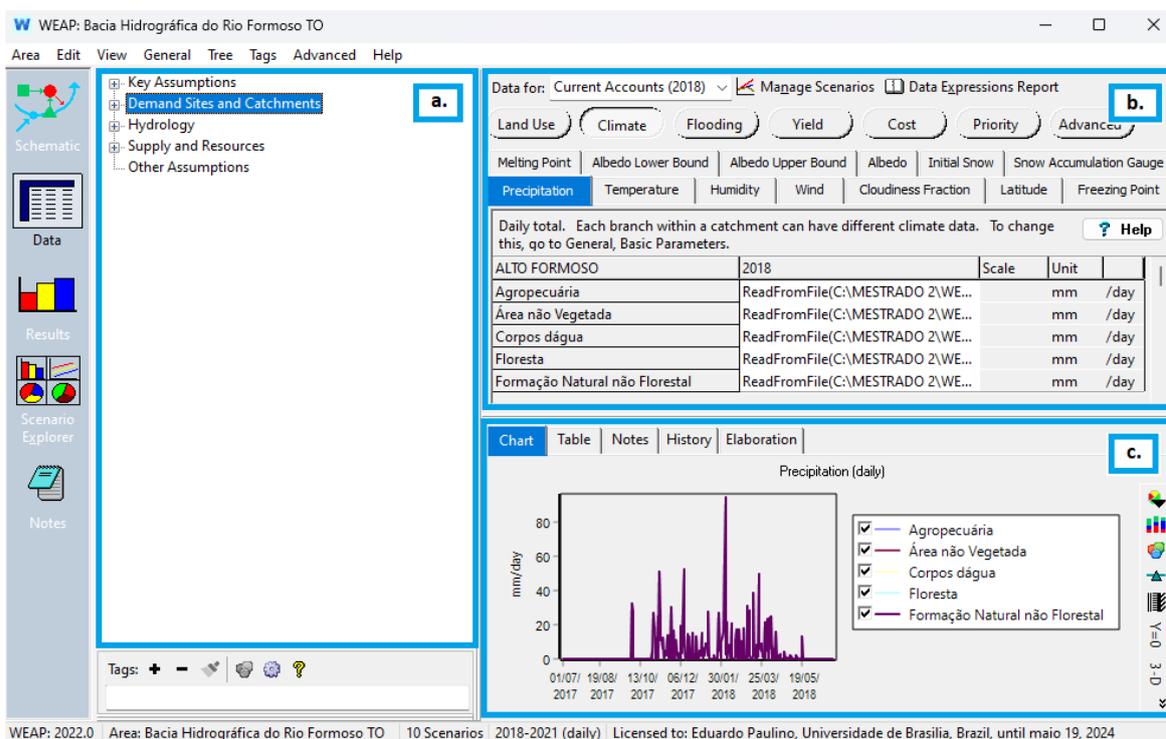


Figura 3 - Interface da Visualização de Dados no WEAP com a identificação da árvore hierárquica (3a.), Tabela de Entrada de Dados (3b.) e exibidor de gráficos e tabelas (3c.).

No canto superior esquerdo da tela (Figura 3a.), há uma árvore hierárquica que é dividida em seis categorias: Suposições Chave (Key Assumptions), Locais de Demanda e Bacias Hidrográficas (Demand Sites and Catchments), Hidrologia (Hydrology), Suprimento e Recursos (Supply and Resources), Meio Ambiente (Environment) e Outras Suposições (Other Assumptions).

Os elementos definidos em Mapa Esquemático apresentam-se organizados como ramos filiados, em sua respectiva categoria na árvore hierárquica, sendo possível, através desta, acessar suas variáveis na Tabela de Entrada de Dados (Figura 3b.), no painel superior

direito, para consulta, inserção ou edição de dados. Segundo SEI (2015), neste painel cada variável aparece em sua própria guia e as variáveis relacionadas são agrupadas em categorias, sendo possível acessá-las no conjunto de botões acima das tabelas de introdução de dados.

O painel inferior direito exibe os dados inseridos no painel superior como gráfico ou tabela (Figura 3c.). Eles permitem que você examine rapidamente os valores gerados pelas expressões inseridas acima. Uma barra de ferramentas à direita do painel dá acesso a uma variedade de opções para formatar gráficos e tabelas (por exemplo, escolher o tipo de gráfico e opções de empilhamento, cores, efeitos 3D, grades, número de casas decimais, etc.) e para imprimir e copiar gráficos e tabelas e tabelas de exportação para o Microsoft Excel (SEI, 2015).

3.4.1.3 Visualização de Resultados (Results View)

A visualização de Resultados serve para escolher as saídas da simulação a serem extraídas e visualizadas em gráficos, tabelas e no Mapa Esquemático. Além disso, diferentes entidades, cenários, anos e unidades podem ser utilizados como gráficos exibindo valores variáveis para intervalos de tempo. Os dados podem ser filtrados para uma exibição detalhada e flexível dos valores de dados de entrada e saída do modelo para trajetórias de passos de tempo (FARD E SARJOUGHIAN, 2020).

De acordo com SEI (2015), a execução da simulação gera projeções de todos os aspectos do sistema, incluindo requisitos e cobertura do local de demanda, vazão dos cursos d'água, satisfação dos requisitos de fluxo em rios, armazenamento de reservatórios e águas subterrâneas, geração de energia hidrelétrica e demandas de energia, evaporação, transmissão e perdas de fluxo de retorno, tratamento de águas residuais, cargas de poluição e custos.

3.4.2 Método de Umidade do Solo - Soil Moisture Method

Segundo SEI (2015), para a simulação de processos em bacias hidrográficas tais como evapotranspiração, escoamento e infiltração, bem como demandas de irrigação, é necessária a escolha de um dentre cinco métodos de simulação acoplados ao WEAP. Esses métodos são:

- **Coneficiente Simplificado – escoamento de Chuvas (*Simplified Coefficient Method – Rainfall Runoff*):** dentre os cinco métodos, é o mais simples. Utiliza o coeficiente de cultura (k_c) para calcular a evapotranspiração potencial na bacia e, então, determina qualquer demanda de irrigação que possa ser necessária para cumprir a parcela dos requisitos de evapotranspiração que a chuva não pôde atender. Não simula processos de infiltração e escoamento superficial e nem identifica alterações na umidade do solo.
- **Coeficiente Simplificado – Apenas Demandas de Irrigação (*Simplified Coefficient Method – Irrigation Demands Only*):** determina a evapotranspiração para culturas irrigadas e de sequeiro através do k_c . O remanescente de chuva não consumido pela evapotranspiração é simulado como escoamento superficial para um rio ou pode ser particionado com o fluxo direcionado aos aquíferos.
- **Método de Umidade do Solo (*Soil Moisture Method*):** mais complexo que os métodos anteriores, este permite a caracterização dos impactos de uso da terra e/ou do tipo de solo. A bacia hidrográfica é representada com duas camadas de solo, uma superior e outra inferior, onde são aplicados os balanços de massa conforme os fluxos de entrada e saída de água.
- **Método MABIA (*MABIA Method*):** realiza a simulação diária de transpiração, evaporação, requisitos e programação de irrigação, crescimento e produtividade das culturas, além de incluir módulos para estimar a evapotranspiração de referência e a capacidade de água no solo. Aplica o método do k_c ‘duplo’, que divide o k_c em dois componentes, o k_c basal (k_{cb}), que indica a transpiração das cultura, e um componente que representa a evaporação da superfície do solo (k_e).
- **Método do Crescimento das Plantas (*Plant Growth Method*):** simula o crescimento das plantas, o uso de água e o rendimento, usando um intervalo de tempo diário. Avalia os impactos da alteração da concentração atmosférica de CO_2 , do estresse térmico, da variabilidade da duração da estação e do estresse hídrico no uso da água pelas plantas e no rendimento das culturas. Necessita da especificação de parâmetros que controlam a taxa de desenvolvimento das plantas e o uso de água. A hidráulica da umidade do

solo é simulada usando um modelo de 13 camadas que representa os 3,5 metros superiores do perfil do solo.

A modelagem da BHRF foi realizada através da aplicação do Método de Umidade do Solo. Essa escolha se justifica tendo em vista que o método abrange o cálculo do balanço de massa por bacia hidrográfica, considerando a influência de variáveis relacionadas ao uso da terra e tipo de solo sobre os fluxos de água. Esse aspecto é fundamental, já que os solos da região apresentam características peculiares e influenciam fortemente na disponibilidade hídrica para a agricultura, como será visto adiante.

O Método de Umidade do Solo é formulado com base em um algoritmo de modelo conceitual unidimensional. A bacia hidrográfica é representada com duas camadas de solo, uma superior e outra inferior. Na camada superior é simulada a evapotranspiração, considerando a precipitação e a irrigação em terras agrícolas e não agrícolas, escoamentos superficial e subsuperficial e mudanças na umidade do solo. Já na camada inferior, são simulados o fluxo de base e as variações de umidade no solo (SEI, 2015; Teklu et al. 2020). A Figura 4 apresenta o diagrama conceitual e as equações incorporadas no Método de Umidade do Solo.

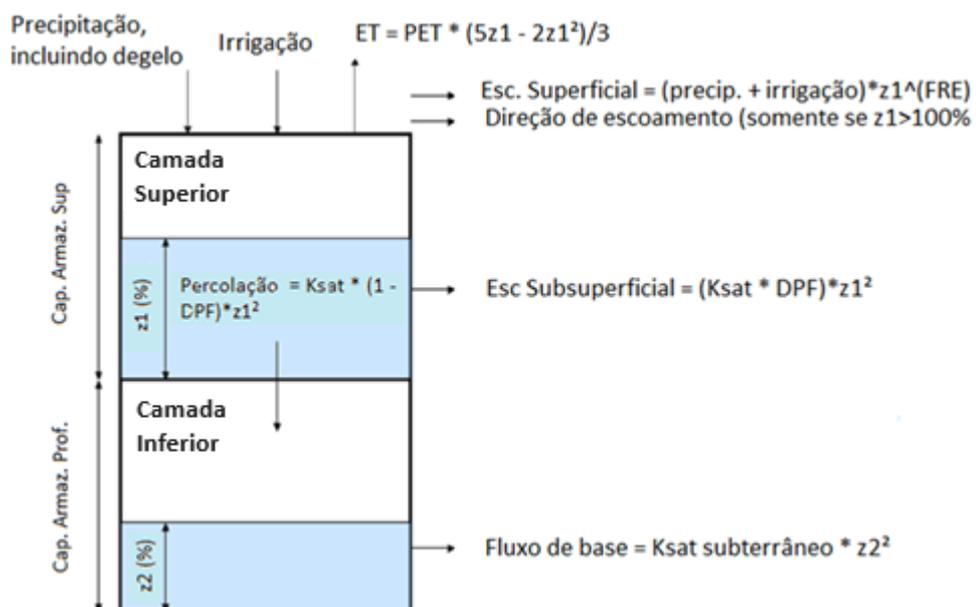


Figura 4 - Diagrama Conceitual do Método de Umidade do Solo, acoplado ao WEAP, e equações do balanço de massa. Fonte: Adaptado de SEI (2015).

Uma unidade de bacia pode ser dividida em N áreas fracionárias que representam diferentes usos da terra/ tipos de solo, de modo que um balanço hídrico é calculado para cada área fracionária j de N. O clima é considerado uniforme em cada bacia hidrográfica ou nó de captação e o balanço hídrico da camada superior é dado conforme a Equação 3.1 (SEI, 2015):

$$R_{d,j} \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{i,j}^{RRF_j} - f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2 \quad (3.1)$$

Onde,

- $R_{d,j}$: Armazenamento efetivo da camada superior por fração de cobertura da solo j.
- $z_{1,j}$: Armazenamento relativo (%), dado como uma fração do armazenamento efetivo total da zona raiz, para a fração de cobertura do solo, j.
- $\frac{dz_{1,j}}{dt}$: Variação do armazenamento relativo z1 em função do tempo t.
- P_e : Precipitação efetiva (mm)
- $k_{c,j}$: Coeficiente de cultura para cada fração de solo j.
- $PET(t)$: Evapotranspiração Potencial ou de Referência (mm/dia)
- RRF : Fator de Resistência ao escoamento da cobertura do solo
- $k_{s,j}$: condutividade hidráulica saturada da zona raiz (mm/tempo)
- f_j : coeficiente de particionamento relacionado ao solo, tipo de cobertura do solo e topografia que particiona de forma fracionária a água na horizontal e vertical.

Cada um dos cinco termos da Equação 3.1, representadas no lado direito da igualdade, indica um componente do balanço hídrico demonstrado no diagrama conceitual da Figura 4. A precipitação efetiva $P_e(t)$, primeiro termo, incorpora segundo SEI (2015), o derretimento da neve acumulada na sub-bacia, que é avaliado através do coeficiente de fusão (m_c), que varia de 0 a 1, segundo o valor da temperatura observado no mês considerado, como mostra a Equação 3.2:

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_s \\ 1 & se T_i > T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & T_s \leq T_i \leq T_l \end{cases} \quad (3.2)$$

Em que,

- T_i : Temperatura observada para o mês i
- T_l : Limite de temperatura de fusão
- T_s : Limite de temperatura de congelamento

No mês i , o valor de m_c determina a parcela da precipitação total observada que é considerada neve, conforme a temperatura registrada. Isto permite o cálculo do acúmulo de neve para o período, como mostra a Equação 3.3:

$$A_{C_i} = A_{C_{i-1}} + (1 - m_c) P_i \quad (3.3)$$

Onde,

- A_{C_i} : acúmulo de neve no mês i
- $A_{C_{i-1}}$ = acúmulo de neve no mês $i-1$
- P_i : precipitação total observada no mês i

Quando o m_c é igual a 0, a temperatura T_i é inferior a T_s e P_i é 100% constituída por neve. Por outro lado, quando o m_c assume valor 1, a temperatura T_i é superior a T_l e a precipitação total é 100% representada pela chuva. Valores de m_c entre 0 e 1 caracterizam uma precipitação composta tanto por chuva quanto por neve, de modo que a maior parcela dependerá de quão próximo T_l estará de um dos limites de temperatura, T_l ou T_s .

Além de m_c , P_e também é função da taxa de fusão (m_r). Este componente representa a parcela do acúmulo de neve que é convertida para o estado líquido e que se torna parte de P_e . Assim, segundo SEI (2015), as expressões que calculam m_r e P_e são representadas pelas Equações 4.4 e 4.5, respectivamente:

$$m_r = A_{C_i} m_c \quad (4.4)$$

$$P_e = P_i m_c + m_r \quad (4.5)$$

Se a duração do intervalo de tempo for inferior a um mês, o modelo de acúmulo e derretimento de neve é modificado para restringir a taxa de derretimento da neve pelo calor total disponível para transformar gelo em água. O calor total disponível é calculado como a

soma da radiação solar líquida e o calor introduzido na camada de neve pela chuva. O albedo, necessário para o cálculo da radiação solar líquida, é calculado em função do acúmulo de neve e varia de um valor de 0,15 a 0,25 com o aumento da profundidade do acúmulo de neve (SEI, 2015).

Em regiões tropicais, como no estado do Tocantins, o modelo de acúmulo e derretimento de neve, representado pelas Equações 3.2, 3.3 e 3.4, não se aplica. Neste caso, o coeficiente de fusão m_c assume o valor constante de 1 (Equação 3.2), tendo em vista que T_i sempre será maior que T_l . Desta forma, a precipitação total mensal que ocorre é de 100% de chuva, não havendo acúmulo de neve (Equação 3.3). Assim, m_r assume valor nulo (Equação 3.4) e P_e é igual a P_i (Equação 3.5).

Na equação 3.1, o segundo termo representa a evapotranspiração real da cultura como uma função da evapotranspiração de referência PET. Conforme Abdi e Ayenew (2021), o PET é estimado por meio da equação de Penman Monteith, modificada para um cultivo padronizado de grama, com 0,12 m de altura e resistência superficial de 69 s/m.

O terceiro termo representa o escoamento superficial, onde RRF_j é o Fator de Resistência ao Escoamento da cobertura do solo. Valores mais altos de RRF_j levam a um menor escoamento superficial. O quarto e o quinto termos são os termos de interfluxo e percolação profunda, respectivamente, onde o parâmetro $k_{s,j}$ é uma estimativa da condutividade saturada da zona radicular (mm/tempo) e f_j é um coeficiente de partição relacionado ao solo, tipo de cobertura da terra e topografia que fraciona a água tanto na horizontal quanto na vertical. Assim, o escoamento superficial total e interfluxo, RT , de cada sub-bacia no tempo t é (SEI, 2015):

$$RT(t) = \sum_{j=1}^N A_j \left(P_e(t) z_{i,j}^{RRF_j} + f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 \right) \quad (3.6)$$

Em que,

- A_j : área contribuinte da sub-bacia j .

O balanço de massa da camada inferior do diagrama do MUS, onde o fluxo de entrada é representado pela percolação e a saída pelo fluxo de base, é calculado conforme a Equação 3.7:

$$S_{m\acute{a}x} \frac{dz_2}{dt} = \left(\sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2 \right) - k_{s2} z_2^2 \quad (3.7)$$

No qual,

- $S_{m\acute{a}x}$: Armazenamento máximo na camada profunda.
- z_2 : Armazenamento relativo (%) dado como uma fração do armazenamento máximo da camada profunda.
- $\frac{dz_2}{dt}$: Variação do armazenamento relativo z_2 em função do tempo t .
- k_{s2} : condutividade saturada na camada inferior (mm/tempo)

3.4.3 Aplicação

Pesquisas que avaliam estratégias de gestão em bacias hidrográficas que sofrem com a escassez dos recursos hídricos têm utilizado a ferramenta WEAP como um sistema de apoio à tomada de decisão, simulando cenários hidrológicos e políticos nos modelos gerados pela ferramenta.

Amin et al. (2018) desenvolveram uma estratégia de gestão com o objetivo de auxiliar no alcance da sustentabilidade e segurança hídrica na bacia do Alto Indo, no Paquistão. Essa bacia enfrenta problemas de escassez hídrica, que são agravados pelo rápido aumento da populao e pelas alteraoes climáticas.

Através do WEAP, Amin et al. (2018) determinaram a demanda de água não atendida e a porcentagem de cobertura da demanda para o período de 2006 a 2050. Além do cenário base ou de referência, foram gerados cenários para fatores determinantes externos (baixo e elevado crescimento populacional, urbanizao e padrão de vida) e para o impacto das alteraoes climáticas, de forma a avaliar seus efeitos sobre o sistema de abastecimento de gua.

O cenário correspondente ao baixo crescimento populacional apresentou demanda de água semelhante ao cenário de referência. Nos demais cenários, houve um aumento gradual na demanda de gua. O cenário que gerou o valor de demanda de água mais elevado foi aquele que considerou um elevado aumento nos padrões de vida da populao e na taxa de crescimento populacional, sem que houvesse uma melhoria significativa nas condioes de abastecimento de gua.

Posteriormente, tais fatores externos foram aplicados a 4 cenários de gestão da demanda e disponibilidade hídrica na bacia (pessimista, futuro-moderado 1, futuro-moderado 2 e cenário de gestão), que se basearam na reduo das perdas em locais de

demanda doméstica, na diminuição da necessidade de água per capita e, principalmente, na construção de barragens, proposta pelo órgão responsável do país.

Os resultados mostraram que, no futuro pessimista, onde se considerou que a construção das barragens não estará concluída até o ano de 2050, houve um aumento da demanda de água não atendida para 84 milhões de metros cúbicos (mmc) e as perdas alcançaram 40%. No cenário futuro-moderado 1, foram aplicadas diversas técnicas de economia de água doméstica, o que promoveu uma redução da demanda per capita de água de 82,9 m³ para 70 m³, além da diminuição nas perdas em até 20%.

O cenário futuro-moderado 2 foi baseado nas condições do cenário de referência e apresentou um crescimento populacional constante. A demanda média de água não atendida aumentou de 50 mmc para mais de 80 mmc. Já no cenário de gestão, foram implementadas as técnicas de conservação da água e considerou-se que a construção das barragens estariam concluídas em 2023. A demanda média de água não satisfeita foi reduzida para 25 mmc, em relação ao cenário pessimista. Constatou-se que as estratégias de gestão devem ser consideradas para o planejamento, desenvolvimento e concepção de um sistema sustentável de abastecimento de água.

No Brasil, Reis et al. (2020) avaliaram as vazões de contribuição da bacia hidrográfica do rio Grande ao rio São Francisco, levando em conta o atendimento aos usos múltiplos de água armazenada no reservatório de Sobradinho. Por meio do WEAP, elaborou-se dois cenários alternativos de priorização do atendimento às demandas hídricas. Considerou-se as demandas de água do ano de 2017 e as suas respectivas projeções para o ano de 2035.

No primeiro cenário, admitiu-se que as demandas da bacia do rio Grande, bem como o abastecimento humano e a dessedentação de animais, deveriam ser atendidos prioritariamente e sem falhas no atendimento. As demais demandas, localizadas na calha do rio São Francisco, estariam na última posição na fila de preferência. No segundo cenário, deu-se prioridade ao abastecimento humano, animal e à vazão remanescente na calha da bacia do rio São Francisco, sem falhas no atendimento, enquanto que as prioridades na bacia do rio Grande foram variadas conforme o uso.

O estudo mostrou, para o primeiro cenário, que o aumento das demandas de 2017 para as projetadas para 2035 levou a uma redução de cerca de 40% na vazão mínima de contribuição da bacia do rio Grande para a vazão do rio São Francisco. Na projeção das

demandas para 2035, a vazão de contribuição garantiu atendimento a todas as suas demandas, mas refletiu na diminuição do volume armazenado no reservatório Sobradinho

No segundo cenário, o aumento das demandas de 2017 para as projetadas para 2035 levaram à redução da vazão mínima de contribuição do rio Grande de 245 m³/s para 220 m³/s, ocasionando o não atendimento integral às demandas de irrigação. Adicionalmente, as prioridades de demanda estabelecidas para esse cenário, no ano de 2017 e na projeção para 2035, aumentaram a vazão de contribuição do rio Grande em 24% e 86%, respectivamente.

3.5 A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BHRF

3.5.1 Legislação

O Decreto nº2.432, de 6 de junho de 2005 é o ato administrativo que regulamenta o procedimento de outorga de recursos hídricos no estado do Tocantins, de que dispõe os artigos 8º, 9º e 10º da lei 1.307/2002, a Lei Estadual de Recursos Hídricos. Ao Instituto Natureza do Tocantins, o Naturatins, incumbe outorgar o direito de uso dos recursos hídricos, que é condicionada à disponibilidade hídrica e às prioridades expressas no Plano Estadual de Recursos Hídricos, o PERH, e no Plano de Bacias Hidrográficas, o PBH segundo o artigo 2º do decreto.

A legislação de Recursos Hídricos do Tocantins estabelece, no artigo 9º que, dependerá de outorga os seguintes usos: a) a derivação ou captação de parcela da água para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo; b) a extração de água de aquífero para consumo final ou insumo de processo produtivo; c) o lançamento em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; d) o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos, na forma da lei; e) usos, ações ou intervenções que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

No que se refere à cobrança de taxa pelo uso dos recursos hídricos, o artigo 11º da Lei Estadual 1.307/2002 estabelece que todos os usos que dependem de outorga estarão sujeitos à cobrança de taxa, de modo que, na fixação dos valores cobrados, serão observados nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e o seu regime de variação; enquanto que nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e o seu regime de variação, e as características físicas, químicas, biológicas e de toxicidade do efluente.

Os valores arrecadados com a cobrança de taxa são aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que forem gerados, para: a) financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos no Plano Estadual de Recursos Hídricos; b) serviços e obras de saneamento de interesse comum; c) pagamento da implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, limitado a 7,5% do total arrecadado, nos termos em que dispuser o regulamento aprovado pelo chefe do Poder Executivo, segundo o artigo 12º.

Com relação ao prazo das outorgas, o Decreto nº 2432/2005 estabelece que o período será menor ou igual a 35 anos, limitando-se, quando for o caso, ao período coincidente ao prazo de validade da concessão dos serviços públicos de abastecimento de água e de geração de energia elétrica, de acordo com o inciso I do artigo 4º e, de 5 anos, renováveis por igual período, consecutivamente, desde que atendidas as exigências legais e regulamentares vigentes, observada a conveniência administrativa, segundo o inciso II do mesmo artigo.

Ainda segundo o decreto, da outorga para captação em águas superficiais, a vazão de referência quando não houver barramento, será calculada com base nas informações hidrológicas da bacia hidrográfica, para uma vazão de até 90% de permanência, com valores diários, enquanto não for aprovado pelo Plano de Bacia, ou este não apresentar definições sobre a vazão de referência para outorga, segundo o inciso I do artigo 6º. Quando houver barramento, o cálculo da vazão será pelo balanço hídrico do reservatório, com uma garantia de 90% de atendimento das demandas definidas mensalmente, enquanto não for aprovado o Plano de Bacia e este não apresentar definições de valores diferentes desta proposição, segundo o inciso II do artigo 6º.

O somatório das vazões a serem outorgadas deverão seguir, a fio d'água, até 75% da vazão de referência do manancial e, no caso de captações em reservatórios de barragem de regularização, até 90% da vazão de referência do manancial, de acordo com os incisos I e II do artigo 7º do Decreto nº 2432/2005, respectivamente.

3.5.2 Conflitos pelo uso da água e o Projeto GAN

Na BHRF, a agricultura, sobretudo a irrigada, contribui com uma parcela considerável da arrecadação do estado do Tocantins, especialmente através do cultivo de arroz e soja. A irrigação é realizada por meio de bombas de captação superficial instaladas ao longo dos principais rios da BHRF (SHRMA, 2007; IAC, 2017), como mostra a Figura 5. Nos últimos anos, a região vem sofrendo com a escassez severa dos recursos hídricos

durante a estação seca, prejudicando a irrigação e levando a conflitos pelo uso da água entre os agricultores.



Figura 5 - Bombas de captação na BHRF. Fonte: IAC (2017).

De acordo com IAC (2018), em junho de 2016 os rios Formoso e Urubu apresentaram severa redução do volume de água, levando à interrupção do seu cursos no mês seguinte, como mostra a Figura 6. Mesmo com a atuação do Naturatins, órgão ambiental responsável, não foi possível evitar o desastre ambiental nos rios citados, ainda que os usuários estivessem outorgados. Reconhecendo a necessidade de intervenção judicial, o Ministério Público do Tocantins (MPTO) entrou com uma Ação Cautelar Ambiental suspendendo as captações e as obras com geração de impactos, até que se comprovasse a utilização dos recursos hídricos de acordo com a legislação ambiental.



Figura 6 - Intermitência do rio Formoso na BHRF (a) e resgate de animal aquático no leito do rio Formoso . Fonte: IAC (2017).

Conforme descreve IAC (2018), diante desse cenário, a Universidade Federal do Tocantins (UFT), por solicitação do Poder Judiciário do Estado, emitiu parecer técnico sobre a situação na região, apontando hipóteses para o cenário de escassez e destacando a necessidade de estudos de diagnóstico da disponibilidade e demanda hídrica, bem como um rigoroso cadastro dos usuários de água. Na primeira Audiência Pública, realizada com o objetivo de buscar soluções para o problema, o Instituto de Atenção às Cidades (IAC), vinculado à UFT, apresentou a proposta denominada Gestão de Alto Nível (GAN).

Segundo IAC (2018), o Projeto GAN foi criado com o objetivo de implantar um robusto sistema de gestão dos recursos hídricos, no qual o monitoramento, associado a novas regras de outorga e operação das bombas, seria capaz de garantir a segurança da agricultura em consonância com o meio ambiente. O projeto é formado por 4 fases:

- **Fase A) Diagnóstico da Disponibilidade Hídrica:** identificação e diagnóstico de todas as estações de monitoramento de precipitação e nível dos cursos d'água, tratamento e análise das séries históricas para posterior cálculo das vazões mínimas de referência sazonais e processamento da espacialização das vazões mínimas ao longo de toda a rede hidrográfica da bacia do rio Formoso.
- **Fase B) Diagnóstico da Demanda Hídrica:** levantamento em campo de todas as intervenções de captação em cursos d'água para irrigação e confrontamento com os dados da base de outorgas emitidas pelo Naturatins. Posterior análise de consistência e balanço hídrico com a disponibilidade.

- **Fase C) Monitoramento e Automação:** levantamento da cobertura de sinal GPRS, instalação dos medidores de vazão nas bombas, microusinas solares e transmissores e antenas da infraestrutura de telemetria. Paralelamente, desenvolveu-se uma aplicação para armazenar e disponibilizar, em tempo real, as séries sobre as chuvas, nível e vazões nos cursos d'água e as vazões medidas nas bombas hidráulicas dos projetos de irrigação.
- **Fase D) Revisão das Outorgas e Regras de Operação:** envolveu regras de operação das bombas de captação além da revisão das outorgas.

O Projeto GAN trouxe avanços significativos para a gestão dos recursos hídricos na BHRF. A implementação das Fases A a C possibilitaram o desenvolvimento de aplicativo para a internet que armazena e disponibiliza, a cada 15 minutos, as leituras de nível e vazão das estações fluviométricas, bem como as leituras das vazões captadas pelas bombas de irrigação (vazão média diária, volume total diário e tempo de funcionamento), sendo acessível ao público (<https://gan.iacuft.org.br/pagina/principal>). A interface desse aplicativo para consulta dos dados de disponibilidade e demanda hídrica são mostrados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

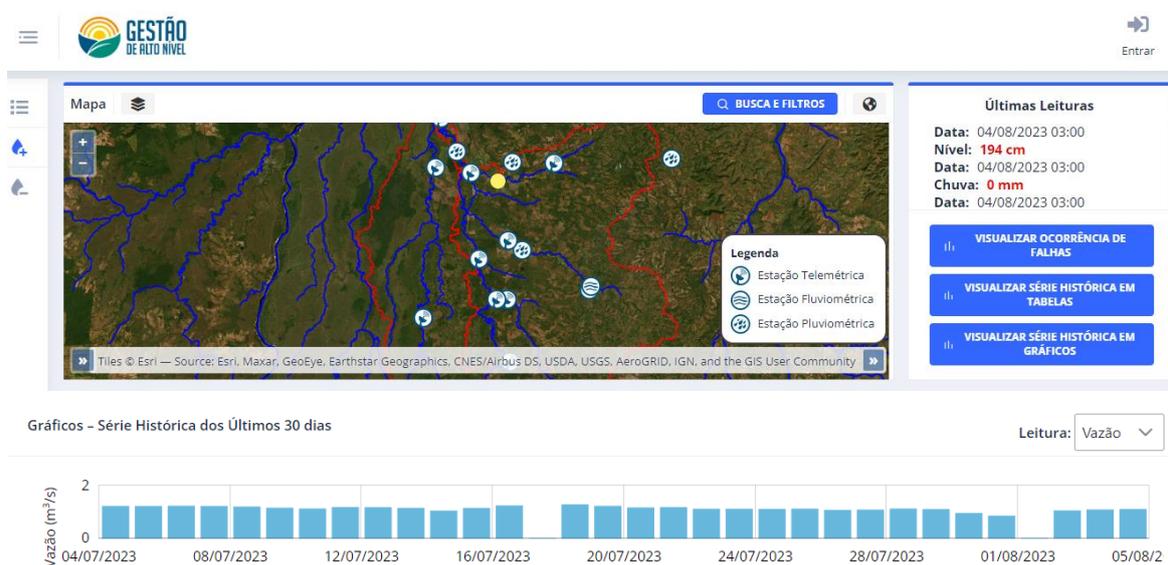


Figura 7 - Interface do aplicativo online do Projeto GAN referente aos dados de disponibilidade hídrica em uma estação fluviométrica aleatória. Fonte: GAN (2017).

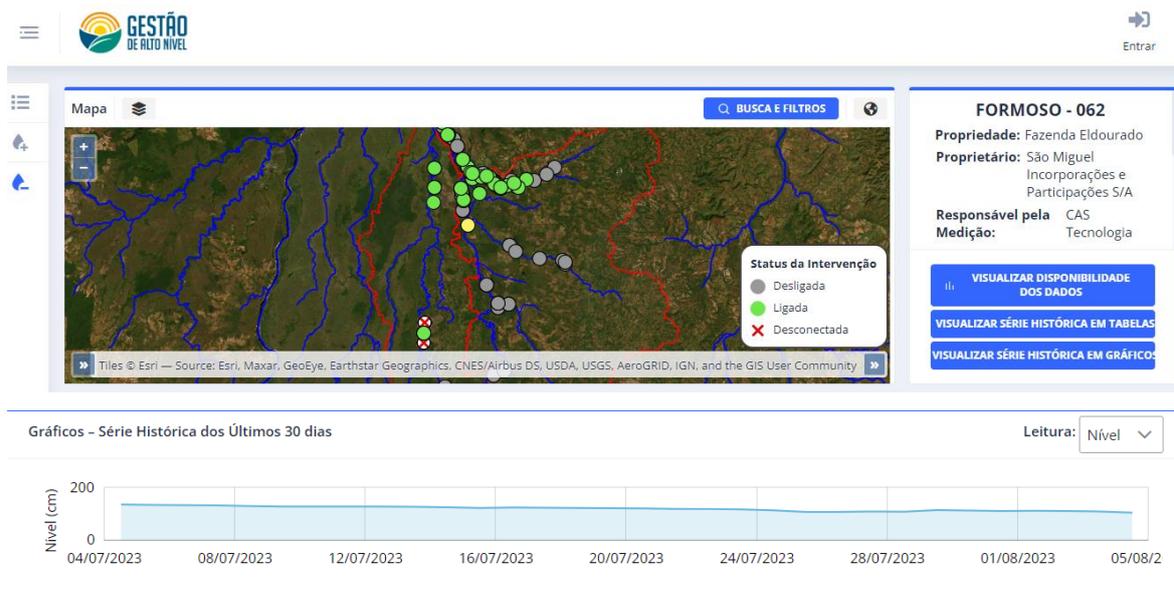


Figura 8 - Interface do aplicativo online do Projeto GAN referente aos dados de demanda hídrica para uma bomba de captação aleatória. Fonte: GAN (2017).

Apesar dos bons resultados alcançados com as três primeiras fases, a Fase D não foi concluída. Segundo IAC (2018), esta fase se mostra fundamental, uma vez que foram identificadas inconsistências na aplicação da outorga e, caso não sejam resolvidas, a retirada de volumes de água incompatíveis com a disponibilidade hídrica nos rios pode provocar problemas ambientais irreversíveis. Diante dessa questão, criou-se, durante a Quinta Audiência Pública, o Grupo de Trabalho (GT) de Revisão de Outorgas, com representantes das entidades do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, IAC/UFT e MPTO. Estabeleceu-se um prazo para que o GT apresentasse um plano com a organização operacional das captações, especialmente no período crítico. Esse plano recebeu o nome de Plano do Biênio (2018-2019)

3.5.3 Plano do Biênio (2018-2019)

O Plano do Biênio (2018-2019) (IAC, 2018) foi elaborado com o propósito de realizar a gestão dos recursos hídricos na BHRF de forma preventiva e com fundamentação técnica e, assim, evoluir a forma de gerenciamento da crise hídrica. Apesar de ter sido elaborado em resposta à inconclusa Fase D do Projeto GAN, tal como este, as propostas de operação das bombas nunca foram implementadas. O Plano do Biênio (2018-2019) se estrutura em 4 estratégias: Espacial, Temporal, Hidrológica e Tecnológica. Essas são descritas a seguir, conforme IAC (2018).

3.5.3.1 Estratégia Espacial

Na estratégia espacial, estabeleceu-se uma escala maior para a gestão e planejamento integrado dos recursos hídricos. Nos principais rios da BHRF, realizou-se um levantamento dos seus respectivos barramentos a fio d'água. Posteriormente, foram identificadas as bombas hidráulicas de captação superficial, distinguindo-se os trechos críticos da BHRF, onde a concentração de bombas é elevada. Por fim, cruzou-se os trechos críticos com os barramentos, estabelecendo-se 10 trechos na BHRF.

3.5.3.2 Estratégia Temporal

Com base no diagnóstico da demanda e disponibilidade hídrica realizada pela equipe do IAC, durante as fases A e B do Projeto GAN, constatou-se uma significativa e rápida redução das vazões após o período chuvoso (dezembro a abril) e um aumento das captações de água no período seco (maio a novembro). Diante desse cenário de crise hídrica, a estratégia temporal propôs, com base em experiências exitosas no passado, a divisão das bombas de captação superficial em 3 grupos e, conseqüentemente, a aplicação de regras de rodízio do funcionamento das bombas entre eles.

As bombas de captação d'água foram divididas conforme o número de bombas e as vazões totais de cada grupo, como mostra a Figura 9, de forma a refletir a distribuição equilibrada para uma gestão segura dos recursos hídricos no período crítico, que começa em junho e se estende até o final de julho, quando as captações devem ser suspensas

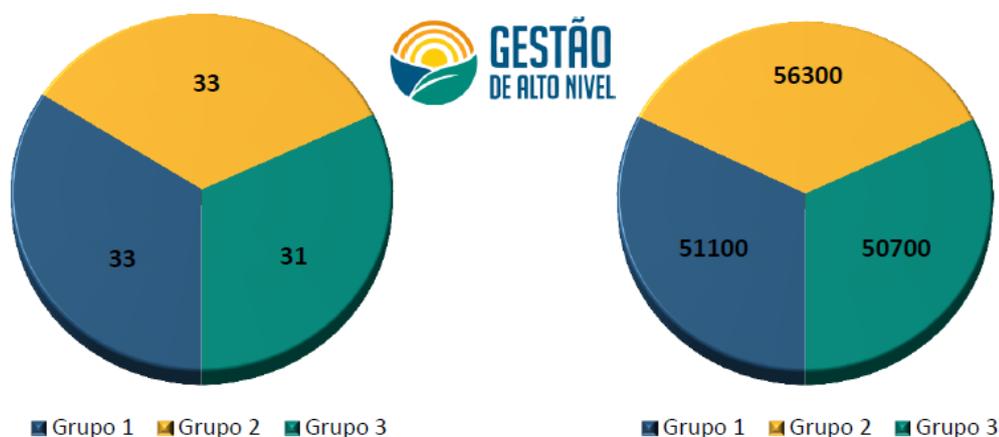


Figura 9 - Distribuição equivalente de: a) número de bombas e b) vazão total, em l/s, nos trechos críticos da BHRF. Fonte: IAC (2018).

Após a divisão das bombas em grupos, foram propostos dois cenários de rodízio das bombas, a serem implementados semanalmente, denominados Cenários A e B. As regras associadas a cada um desses cenários foram simulados no WEAP e serão discutidos em detalhes em Metodologia.

3.5.3.3 Estratégia Hidrológica

Até o momento da elaboração do Plano do Biênio, as estações de monitoramento dos cursos d'água não dispunham de séries de dados consistentes de vazão, apenas de nível ou profundidade da água, disponíveis no aplicativo do GAN. Desta forma, a gestão dos usos múltiplos não poderia ser executada com base nas vazões mínimas de referência. Assim, propôs-se a definição de Níveis Mínimos de Referência para cada trecho da bacia, de modo que a operação das bombas fosse regulado conforme o nível d'água nos rios, como mostra a Figura 10. Essa regulação recebeu o nome de Regras Semafóricas.

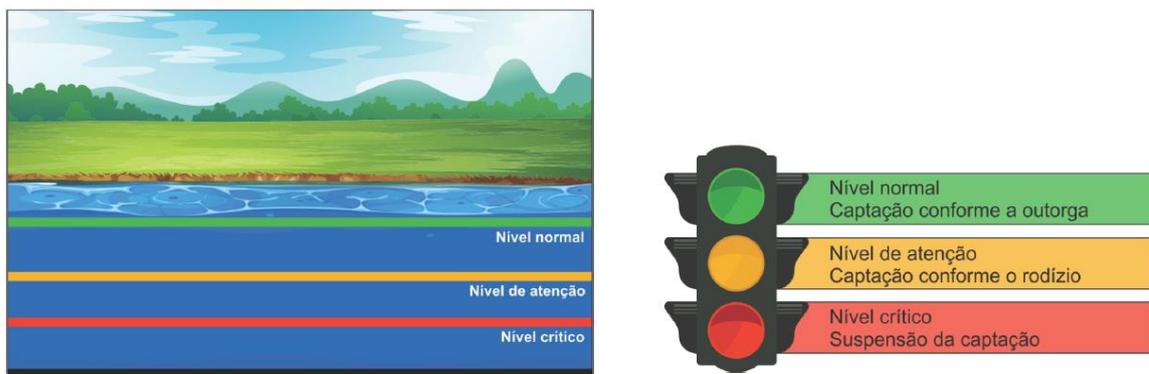


Figura 10 - Regras Semafóricas para captação superficial na BHRF. Fonte: IAC (2018).

Assim, conforme a Figura 10, durante o sinal verde, que vigora enquanto houver leituras de nível acima do nível de atenção, as captações são realizadas de acordo com as outorgas emitidas para cada intervenção (regra verde). O sinal amarelo é acionado quando as leituras de nível nas estações atingem o nível de atenção, vigorando até o momento que o nível do curso d'água atinge o nível crítico, ou em 1º de julho, o que vier primeiro. Nesse período, as bombas obedecem às regras de rodízio propostas na estratégia temporal (regra

amarela). A partir do nível crítico ou no dia 1º de agosto, o sinal vermelho é acionado e todas as captações devem ser interrompidas (regra vermelha).

Cabe destacar que as estações telemétricas utilizadas para a realização do monitoramento do nível dos rios estão localizadas a jusante do trecho de bombas hidráulicas, de forma a refletir o efeito das captações superficiais. Assim, tanto o usuário de montante como de jusante, produzirá efeitos na disponibilidade hídrica, já que são referenciados pela mesma estação.

3.5.3.4 Estratégia Tecnológica

A estratégia tecnológica propõe a aplicação da Gestão Alto Nível IAC/UFT em detrimento da gestão convencional, que se mostrou ineficaz na gestão integrada dos recursos hídricos. O projeto GAN realizou a instalação da infraestrutura para medidores de vazão e consumo para as bombas hidráulicas de captação superficial. Além disso, desenvolveu a aplicação GAN para a internet com a disponibilização, a cada 15 minutos, das leituras de nível e vazão das estações fluviométricas, bem como as leituras de vazão e consumo das bombas de irrigação.

Dessa forma, recomenda-se que produtores e analistas do Naturatins e da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH-TO) realizem o monitoramento contínuo tanto das leituras de nível diária, semanal e mensal das estações de monitoramento, como também acompanhem as leituras de vazão das bombas de captação superficial.

4. METODOLOGIA

O presente capítulo teve como objetivo descrever as 3 etapas metodológicas adotadas para a modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), bem como a construção dos cenários baseados em regras alternativas de gerenciamento dos recursos hídricos. Na primeira etapa, apresentou-se a área de estudo, através da identificação da sua localização e abrangência, descrição da principal atividade econômica e sua importância para a região, bem como a caracterização física da bacia.

Na segunda etapa, realizou-se o levantamento e tratamento dos dados de entrada necessários para a realização da modelagem no WEAP, descrevendo os procedimentos e analisando os resultados obtidos. Por fim, na última etapa, detalhou-se as fases do desenvolvimento da modelagem, que abrangeu a definição do estudo no sistema; a

calibração do modelo a partir da identificação dos parâmetros de ajuste e determinação da sensibilidade do modelo a eles; e a elaboração dos cenários alternativos de gerenciamento dos recursos hídricos nas regiões de conflito pelo uso da água na BHRF.

A caracterização da área de estudo é descrita no sub-item 4.1; a aquisição, tratamento e a análise dos dados de entrada são apresentados no sub-item 4.2; e o desenvolvimento do modelo da BHRF para o WEAP, bem como a construção dos cenários, são descritos no subitem 4.3.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (BHRF), que está localizada na porção sudoeste do estado do Tocantins. A BHRF apresenta uma área de drenagem de 21.328,57 km², o que representa 7,7% da área total do Tocantins. Ela está inserida na Região Hidrográfica Araguaia-Tocantins, que representa a hidrografia de todo o estado e é formada pelo sistemas hidrográficos: rio Araguaia, que engloba uma área de 104.791,8 km² a oeste do estado e da qual a BHRF faz parte, e o rio Tocantins, que compreende uma área de 172.828,2 km², a leste do estado (SHRMA, 2007; SEPLAN-TO, 2017).

Conforme SHRMA (2007), a BHRF compreende parte de 21 municípios, dos quais 7 tem a sede municipal nela inserida. Desses 21 municípios, 3 pertencem ao estado do Goiás, que são: Porangatu, Novo Planalto e Miguel do Araguaia. Entretanto, devido a essa participação goiana na área da bacia ser muito pequena, menos de 3%, ela é desconsiderada.

Além disso, três municípios do Tocantins (Fátima, Oliveira de Fátima e Pium) apresentam seus limites apenas tangenciando o divisor de bacia, com áreas inexpressivas dentro da mesma, cerca de 0,02%, de modo que também são desconsideradas para fins de gestão da BHRF, uma vez que seus interesses possivelmente estarão voltados para as bacias hidrográficas nas quais estão inseridas efetivamente.

Dessa forma, segundo SHRMA (2007), são considerados para fins do meio antrópico, institucional e de gestão dos recursos hídricos, 15 municípios tocantinenses como integrantes da BHRF. São eles: Aliança do Tocantins, Alvorada, Araguaçu, Cariri do Tocantins, Cristalândia, Crixás do Tocantins, Dueré, Figueirópolis, Formoso do Araguaia, Gurupi, Lagoa da Confusão, Nova Rosalândia, Sandolândia, Santa Rita do Tocantins e Talismã. A Figura 11 apresenta os dois limites da BHRF: a correspondente à conformação original da ANA (verde) e a que abrange somente os municípios tocantinenses (vermelho).

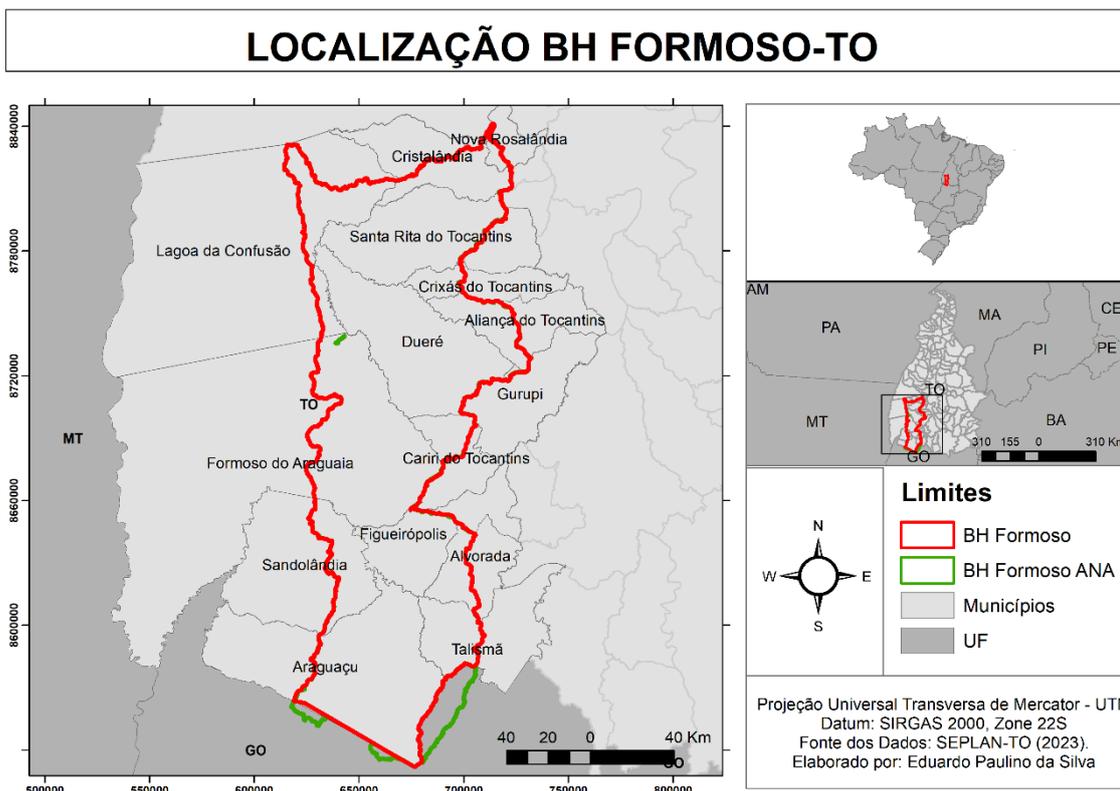


Figura 11 - Mapa de localização da BHRF-TO.

Segundo Magalhães Filho et al. (2015), a BHRF subdivide-se em seis sub-bacias hidrográficas, que são: Piaus, Pau Seco, Xavante, Dueré, Urubu e Formoso. Devido à extensão da sub-bacia do rio Formoso e para a melhor aplicação da etapa metodológica deste estudo, dividiu-se a sub-bacia do rio Formoso em 4: Alto Formoso, Médio Formoso, Baixo Formoso e Ribeirão Lago Verde.

4.1.1 Agricultura Irrigada

Na região da BHRF, a base da economia é o setor agropecuário, constituindo-se como sustentador dos demais setores que se encontram inteiramente relacionados à atividade primária. Os municípios da BHRF contribuem com percentuais bastante significativos junto à arrecadação estadual, principalmente Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, através da agricultura irrigada, representada pelo cultivo de arroz e produção de soja, especialmente. No Formoso do Araguaia se encontra um importante projeto de irrigação, o Projeto Rio Formoso, com uma área total de 27.787 ha. Nos demais municípios, a agricultura irrigada é utilizada, sobretudo, em propriedades privadas, para a produção de arroz, milho, melancia e soja (SHRMA, 2007; TOCANTINS, 2012).

De acordo com IAC (2018), a BHRF é marcada por dois períodos bastante distintos no que diz respeito à disponibilidade hídrica: o período chuvoso, que compreende os meses de dezembro a abril; e o período seco, que abrange os meses de maio a novembro, onde há abrupta redução da vazão nos rios. Segundo SHRMA (2007), tal situação, associada às características específicas dos solos da região, representadas especialmente pelo plintossolo, além das diferentes culturas capazes de serem exploradas nessa situação, permitem o aproveitamento de uma mesma área com duas culturas ao longo do ano.

Durante a época chuvosa na BHRF, os plintossolos que apresentam características hidrófilas, encontram-se encharcados em função de ocuparem as cotas mais baixas do terreno, em relevo plano, admitindo apenas o cultivo do arroz irrigado por meio do sistema de inundação, como mostra a Figura 12. Na irrigação por inundação uma lâmina de água contínua ou intermitente é aplicada em compartimentos formados no terreno, denominados tabuleiros ou quadros, que são limitados por dique ou taipas (SHRMA, 2007; EMBRAPA, 2021).



Figura 12 - Cultivo de sistema de irrigação por inundação em várzeas tropicais.
Fonte: Seagro-TO (2021).

Conforme Vergara *et al.* (2013), a aplicação do sistema de irrigação por inundação na BHRF demanda grandes quantidades de água. Segundo ANA (2020), isso se deve à exposição e subsequente evaporação de uma lâmina de água sobre o solo, sendo necessário um volume expressivo de água dos mananciais para saturar o solo, formar a lâmina de água e mantê-la, de forma a compensar o consumo pela evapotranspiração e as perdas por percolação e fluxo lateral.

Já no período seco, descreve SHRMA (2007), havendo disponibilidade hídrica na BHRF, torna-se viável o cultivo de várias culturas na mesma área de plintossolos, como soja,

milho, feijão, melancia, melão, tomate e outras. Para isso, devido às características peculiares do solo, adota-se a subirrigação, onde a água é retida nos canais e drenos da plantação, elevando o lençol freático e possibilitando a ascensão da umidade pela capilaridade até a região radicular das culturas.

A subirrigação está associada a um menor consumo de água quando comparada ao sistema de irrigação por inundação. Além disso, a necessidade de mão de obra é menor. Porém, com um menor consumo de água, as plantas daninhas passam a representar um grande problema (Magalhães Filho et al., 2015; EMBRAPA, 2021). A Figura 13 mostra a aplicação da técnica em uma área de cultivo



Figura 13 - Subirrigação de arroz. Fonte: EMBRAPA (2023).

4.1.2 Uso e cobertura do solo

A descrição do uso e cobertura do solo na BHRF foi realizada por meio de informações disponibilizadas no site do Projeto MapBiomias. O MapBiomias é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é produzido por uma rede colaborativa de co-criadores formada por ONG's, universidades e empresas de tecnologia, organizados por biomas e temas transversais (MapBiomias, 2019).

Todos os mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomias são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélite Landsat. Todo o processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning), através da plataforma Google Earth Engine, que oferece imensa capacidade de processamento na nuvem (MapBiomias, 2019).

Esses mapas estão em constante evolução, sendo divididos em coleções. As coleções representam alterações nos períodos de abrangência dos mapas anuais, mudanças na legenda ou correções em relação à versão anterior (MapBiomias, 2019). As informações sobre a BHRF foram obtidas da Coleção 6, publicada em agosto de 2021, que é formada por 25 classes de legenda cobrindo o período de 1985 a 2020. Até o momento da realização dessa etapa da Metodologia, essa era a coleção mais recente disponível no website do projeto.

Com Google Earth Engine, foi possível obter um arquivo digital no formato shapefile com recorte do uso e cobertura do solo para a área de estudo. Essa informação é apresentada por meio de um mapa na Figura 14. Na Tabela 1 é exibida a área coberta e o percentual em relação à área total para cada tipo de uso e cobertura identificado na BHRF.

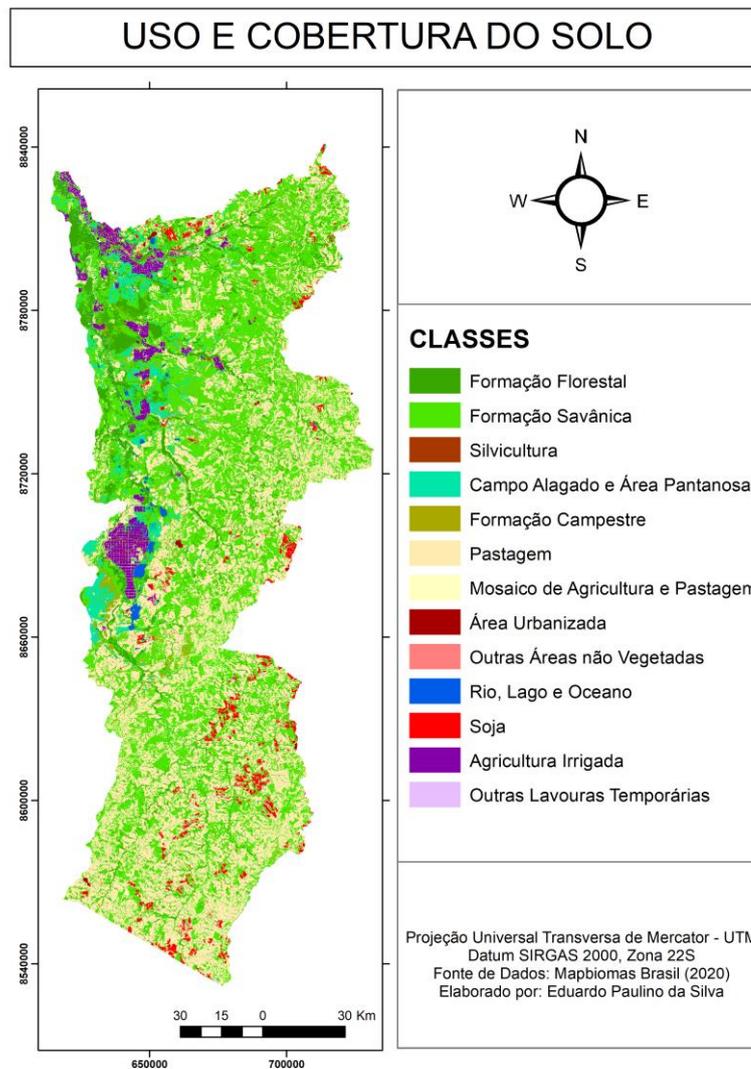


Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da BHRF-TO. Fonte: MapBiomias (2021).

Tabela 1 - Parcela de área coberta, em km² e %, das classes de uso e cobertura do solo na BHRF.

Classes	Área Coberta	
	km ²	%
Formação Savânica	8592,07	41,49
Pastagem	6784,53	32,76
Formação Florestal	1866,85	9,01
Mosaico de Agricultura e Pastagem	1092,56	5,27
Campo Alagado e Área Pantanosa	699,29	3,37
Agricultura Irrigada	551,46	2,66
Soja	487,31	2,35
Formação Campestre	391,29	1,88
Rio, Lago e Oceano	142,13	0,68
Outras Lavouras Temporárias	55,36	0,26
Outras Áreas Não Vegetadas	42,26	0,20
Área Urbanizada	21,84	0,11
Silvicultura	0,33	0,002

Observa-se na Figura 14 e na Tabela 1 um predomínio da classe Formação Savânica, que corresponde a 41,5% da área total da BHRF. Essa classe é caracterizada pela presença de áreas e arbustos dispersos sobre uma camada de gramíneas e outras espécies de herbáceas, sem formar um dossel contínuo. No contexto do Cerrado, os campos, que são caracterizados pela presença de espécies herbáceas e algumas arbustivas, sem a ocorrência de árvores, agrupam-se nas formações savânicas (Ribeiro e Walter, 2008; SEPLAN-TO, 2017).

A Pastagem é a segunda maior parcela de área coberta, com 32,76%. Essa classe representa áreas predominantemente plantadas, vinculadas à atividade agropecuária. O principal efetivo de rebanhos na região é de bovinos, que em 2021, somava 2.075.262 cabeças, considerando o efetivo total dos municípios compreendidos pela BHRF, sendo a maior fração desse valor, representada pelo município de Araguaçu (SHRMA, 2007; SEPLAN, 2021).

A terceira maior parcela de área coberta é a Formação Florestal, com 9,01% da área total da BHRF. De acordo Ribeiro e Walter (2008), essa classe representa áreas caracterizadas, principalmente, pelo componente arbóreo, onde há formação do dossel contínuo. Na área de estudo, essa classe é representada pelas Matas de Galeria, que ocupam, predominantemente, a porção noroeste da bacia, como mostra a Figura 14.

A agricultura irrigada cobre apenas 2,7% da área total da bacia, sendo caracterizada, pelo cultivo de arroz (irrigação por inundação) no período chuvoso e soja de semente no período seco. Porém, tal atividade tem grande impacto na disponibilidade hídrica, uma vez que, segundo SHMRA (2007), ela é responsável por mais de 98% da demanda na bacia, seguida do abastecimento populacional e da dessedentação de animais.

4.1.3 Meio Físico

A caracterização do meio físico da BHRF respaldou-se no relatório técnico Diagnóstico Ecológico-Econômico do Zoneamento Ecológico-Econômico do estado do Tocantins (ZEE-TO). O ZEE-TO foi elaborado com base em arquivos digitais estruturados em sistemas de informações geográficas (SIG) no formato shapefile, disponíveis na Secretaria de Planejamento e Orçamento (SEPLAN), referentes a dados físico-bióticos, de infraestrutura, político-administrativos e de cobertura e uso da terra do território tocantinense equivalente às escalas de 1:250.000 e 1:1.000.000.

Conforme SEPLAN (2017), tal base de dados é oriunda das minutas originais do projeto Radar na Amazônia (RADAM/RADAMBRASIL) com atualizações posteriores. Tal projeto, descreve CPRM (2022), foi criado em 1970 pelo Ministério de Minas e Energia, que realizou a coleta de dados sobre recursos minerais, solo, vegetação, uso da terra e cartografia da Amazônia, e áreas adjacentes da região Nordeste

Ainda segundo CPRM (2022), mais tarde, em 1975, devido aos bons resultados do projeto, o levantamento de radar foi expandido para o restante do território nacional, visando ao mapeamento integrado dos recursos naturais e passando a ser denominado RADAMBRASIL.

4.1.3.1 Geologia

A BHRF encontra-se localizada na borda oeste da Província do Tocantins, delimitada a sul pelas sequências de falhas do Lineamento Transbrasiliano, a sudoeste e noroeste pelo Cráton Amazônico, a sudeste pela Província São Francisco e a nordeste pela província

Parnaíba. São identificadas 20 unidades litoestratigráficas divididas em quatro domínios geotectônicos: Bacia Sedimentar do Bananal, Bacia Sedimentar Água Branca, Cinturão Paraguai-Araguaia e Arco Magnético de Goiás (Faraco et al., 2004; Santos, 2016). A caracterização geológica da BHRF é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Unidades Geotectônicas e litoestratigráficas da BHRF. Fonte: Santos e Morais (2017).

Unidades Geotectônicas	Era	Unidades litoestratigráficas	Área	
			km ²	%
Bacia Sedimentar do Bananal	CENOZÓICO	Depósitos aluvionares	2.652	12,3
		Depósitos detríticos indiferenciados	27	0,1
		Fácies de depósitos aluvionares	2.973	13,8
		Fácies de terraços aluvionares	166	0,8
		Coberturas detrito-lateríticas ferrug.	216	1,0
		Cobertura detrito-laterítica	6	0,03
Bacia Sedimentar Água Branca	PALEOZÓICO	Formação Água Bonita	443	2,1
Cinturão Paraguai-Araguaia	NEO-PROTEROZÓICO	Suíte Santa Tereza	11	0,005
		Suíte Lajeado	435	2,0
		Formação Couto Magalhães	3.911	18,1
		Formação Pequizeiro	420	1,9
		Formação Xambioá	2.620	12,1
	MESO-PROTEROZÓICO	Formação Morro do Campo	1.194	5,5
	PALEO-PROTEROZÓICO	Ortognaisse Oeste de Goiás	70	0,3
		Grupo Serra da Mesa	33	0,2
		Suíte Serrote	22	0,1
		Complexo Rio dos Mangues	5.494	25,5
Suíte Gabro-Diorítica Posselândia		33	0,2	
		Stocks e Diques Máfico-Ultramáficos	94	0,4
Arco Magmático de Goiás	MESO-ARQUEANO	Complexo Granulítico Porangatu	756	3,5

A Bacia Sedimentar do Bananal é um amplo compartimento intracratônico, caracterizando um baixo estrutural cenozóico com 106.000 km², sendo estabelecido no médio curso do rio Araguaia (Silva *et al.*, 2003; Lima; Junior, 2003; Santos, 2016). A Formação Araguaia, representa a unidade cenozóica com maior área na BHRF, cerca de 14,6% da área da BHRF, com pacotes de deposição com espessura entre 170 e 320 m, intercaladas por camadas de areia, silte, argila e conglomerado basal, constituindo fácies de depósitos aluvionares e de terraços aluviais (Brasil, 1981; Silva *et al.*, 2003; Valente, 2007; Santos *et al.*, 2016).

A Bacia Sedimentar Água Branca é uma unidade paleozoica, localizada na região sudoeste do rio Formoso, mais precisamente no município de Araguaçu-TO (Valente, 2007;

Santos, 2016). Conforme Carvalho (2011), tal bacia sedimentar é composta pela Formação Água Bonita, constituída por arenitos com granulometria média e grossa, e localmente conglomeráticos, sendo intercalada por siltito micáceo. As observações realizadas por Santos et al. (2016), constataram o afloramento de arenitos com estratificação horizontal, com tons que variam entre branco, amarelo e vermelho, recobertos por horizontes pedogeneizados com ocorrência de laterização.

O Cinturão Paraguai-Araguaia se caracteriza por uma cadeia de montanhas que compõe a plataforma brasileira na sua porção central, com uma extensão de 1200 km por 100 km de largura, estabelecido na direção sul-norte. Na área de estudo, a estrutura aflora nas médias vertentes das sub-bacias do Formoso, entre as cotas 220 m e 300 m, tendo como exceção as cabeceiras de drenagem do rio Urubu, localizadas na região de Cristalândia do Tocantins, e nas nascentes do rio Piaus, ambas com cotas acima de 350 m. (GORAYEB, 2011 apud SANTOS, 2016).

O Arco Magmático de Goiás é um conjunto de rochas ígneas e metamórficas antigas, constituído pelo Complexo Granulítico Porangatu (LACERDA FILHO et al 2004). Essa unidade geotectônica ocupa 3,5% da área da BHRF, na nascente do rio Formoso, extremo sul da bacia. As litologias da BHRF relacionadas a essa unidade compõem o Complexo Granulítico Porangatu, com embasamento cristalino constituído por rochas magmáticas ultramáficas e metamórficas como anfibólitos, granitos, granulitos, gabros, gnaisses e noritos, ricos em minerais como biotita e granata (Valente, 2007; Carvalho, 2011; Santos, 2016). A Figura 15 apresenta o mapa das unidades litoestratigráficas da BHRF.

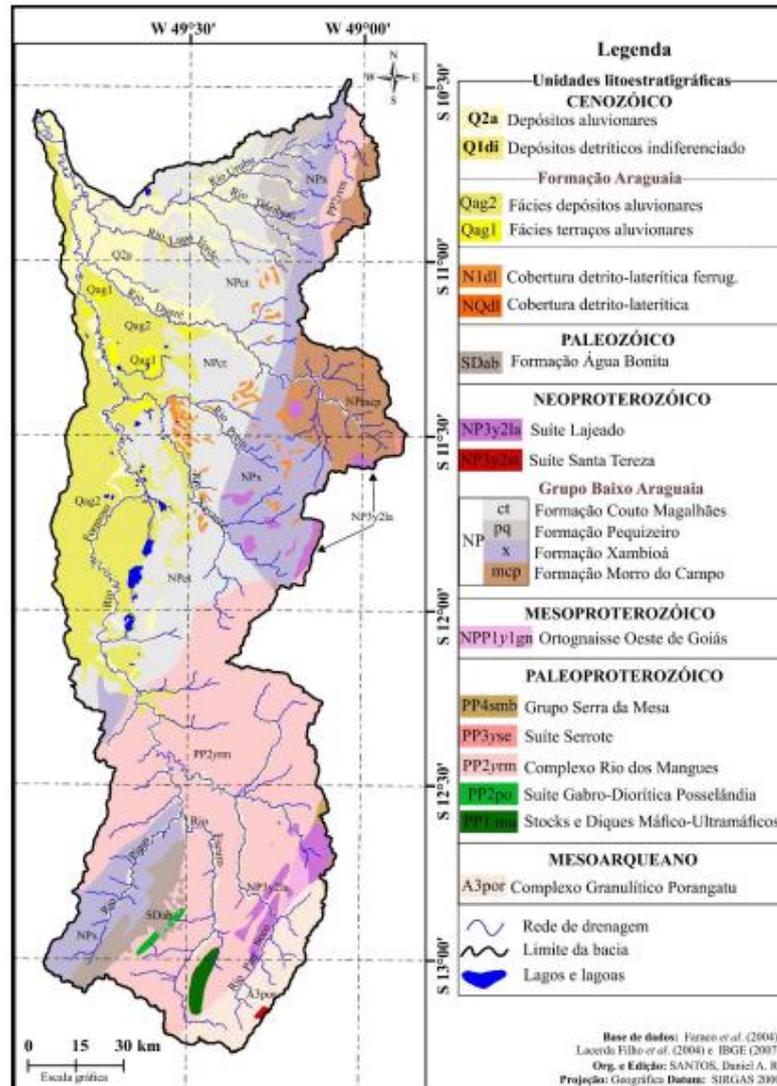


Figura 15 - Unidades litoestratigráficas identificadas na BHRF. Fonte: Santos et al. (2016).

4.1.3.2 Geomorfologia

A caracterização geomorfológica da BHRF seguiu o manual proposto por IBGE (2009). Os conceitos utilizados na proposta de mapeamento deste manual têm como princípio básico o ordenamento dos fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial, na qual se distinguem os modelados como unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados (IBGE, 2009).

Para a individualização destes conjuntos de feições, são considerados como parâmetros fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico (IBGE, 2009).

De acordo com a ordem decrescente de grandeza são identificados: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009). A Figura 16 representa a estrutura da geomorfologia proposta por IBGE (2009).

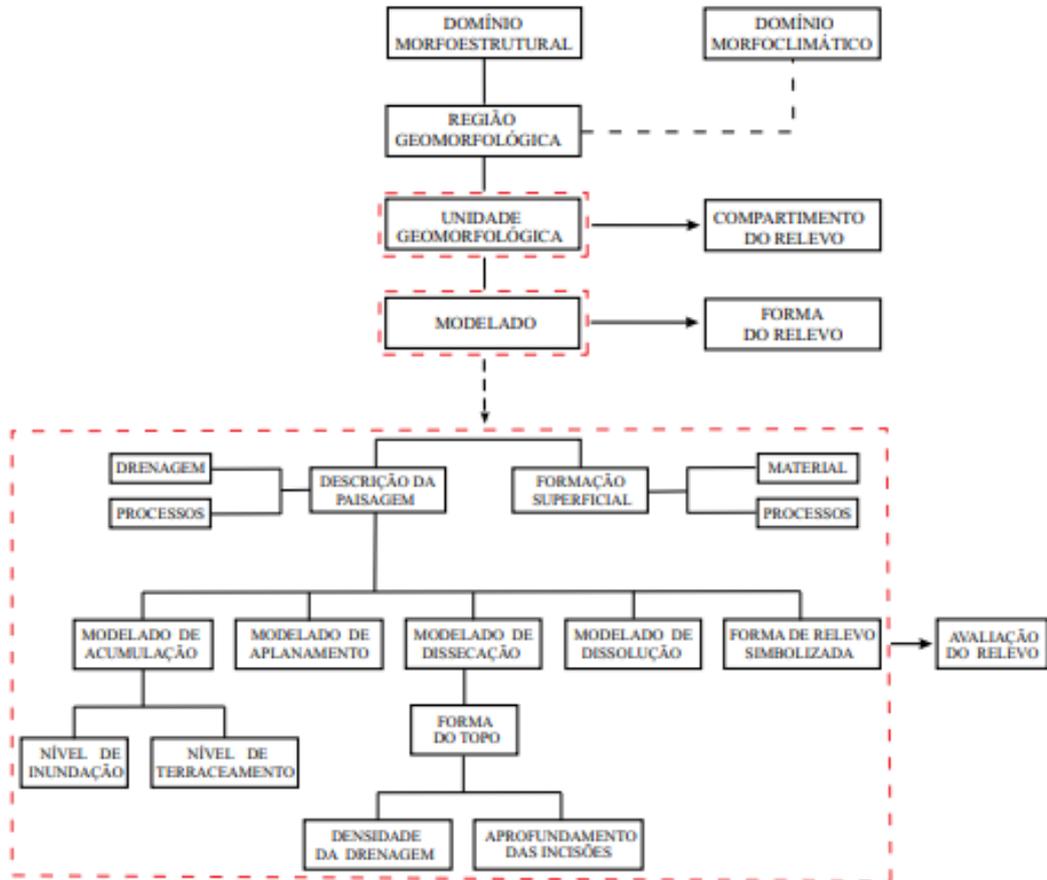


Figura 16 - Estrutura geomorfológica proposta por IBGE (2009).

Os grupamentos supracitados são categorizados conforme níveis taxonômicos. O termo taxonomia deriva do grego taxis+nomos (ordem+ciência) e, em geomorfologia, visa representar o relevo em seus aspectos fisionômicos de acordo com o grau de detalhamento em que se analisa a superfície (AMARAL e ROSS, 2006). Assim, tais grupos são ordenados em níveis taxonômicos e descritos, em linhas gerais, na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos grupos taxonômicos na Geomorfologia. Fonte: Adaptado de IBGE (2009).

Nível Categórico	Classificação Taxonômica	Descrição
1	Domínios Morfoestruturais	Os Domínios Morfoestruturais compreendem os maiores táxons na compartimentação do relevo. Ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas
2	Regiões Geomorfológicas	Representam compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionomias
3	Unidades Geomorfológicas	Elas são definidas como um arranjo de formas altimétrica e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. A geomorfogênese e a similitude de formas podem ser explicadas por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológica e estrutural.
4	Modelados	Um polígono de modelado abrange um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais.
5	Formas de Relevo Simbolizadas	Abrange feições que, por sua dimensão espacial, somente podem ser representadas por símbolos lineares ou pontuais.

A BHRF abrange três dos quatro domínios morfoestruturais existentes no Tocantins. São eles: Depósitos Sedimentares Inconsolidados, Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares e Embasamentos em Estilos Complexos. A Figura 17 e 18 representam, respectivamente, os mapas temáticos dos domínios morfoestruturais e unidades geomorfológicas da BHRF. A Tabela 4 apresenta os domínios morfoestruturais da BHRF bem como suas respectivas unidades geomorfológicas e modelados

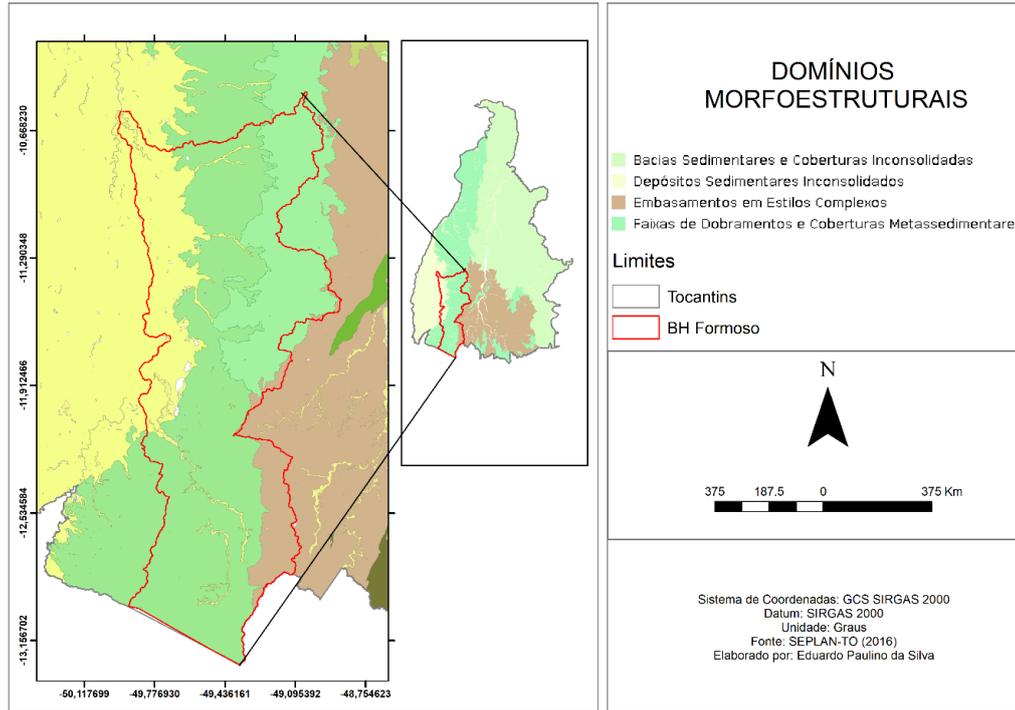


Figura 17 - Domínios Morfoestruturais identificados na BHRF. Fonte: SEPLAN-TO (2017).

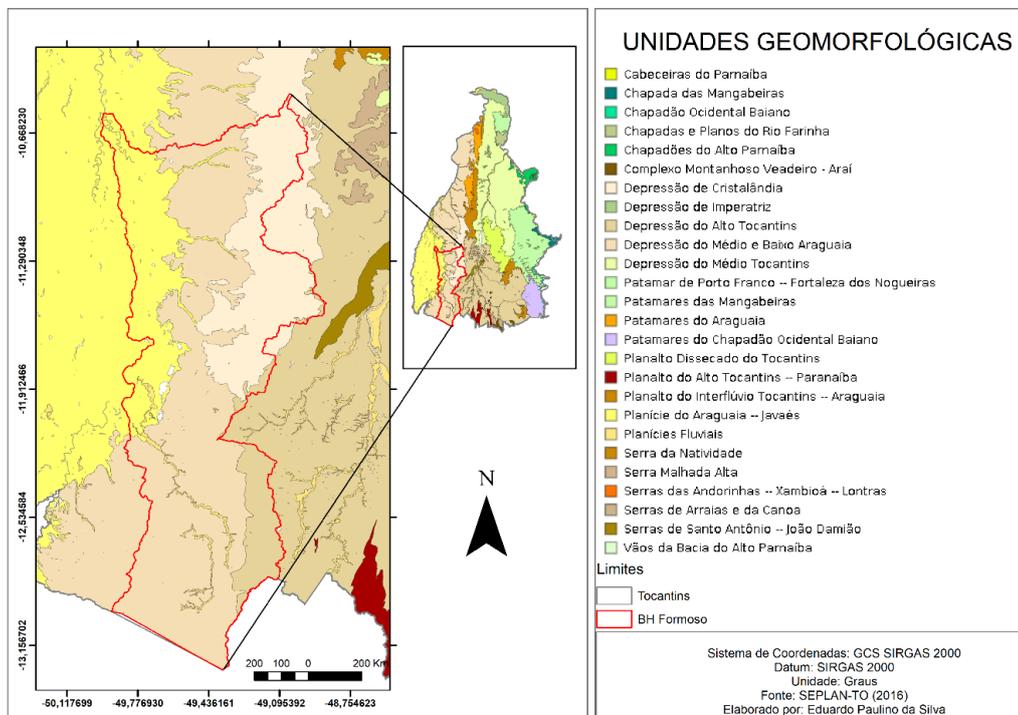


Figura 18 - Unidades Geomorfológicas identificadas na BHRF. Fonte: SEPLAN-TO (2017).

Tabela 4 - Domínios morfoestruturais, unidades geomorfológicas e modelados encontrados na BHRF. Fonte: Adaptado de SEPLAN-TO (2017).

Domínios Morfoestruturais	Unidades Geomorfológicas	Modelados
Depósitos Sedimentares Inconsolidados	Planície do Araguaia-Javaés	Acumulação: inundáveis e planícies fluviais
	Planícies Fluviais	Acumulação: terraços e planícies fluviais
Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares	Depressão de Cristalândia	Acumulação: planícies fluviais e inundáveis
		Dissecação: colinas e ravinas e em patamares
		Aplanamento: superfícies de pediplanos
	Depressão do Médio e Baixo Araguaia	Dissecação: colinas e ravinas
Embasamentos em Estilos Complexos	Depressão do Alto Tocantins	Aplanamento: superfície de pediplanos

A descrição da geomorfologia da BHRF seguiu a metodologia de SEPLAN (2017). Para isso, foram delimitados os Domínios Morfoestruturais da BHRF com suas respectivas Unidades Geomorfológicas, citando os modelados e formas geomorfológicas como forma de representar o relevo de cada uma das unidades.

Depósitos Sedimentares Inconsolidados.

As áreas de Depósitos Sedimentares Inconsolidados correspondem às planícies e aos terraços de baixa declividade. Correspondem às Coberturas Cenozoicas de idade Quaternária, áreas de sedimentação recente constituídas por uma mescla de materiais areno-argilosos (SEPLAN, 2017). Esse domínio morfoestrutural ocupa o lado oeste da BHRF, se estendendo do extremo norte da bacia até o centro, na altura do município Formoso do Araguaia, como indicado na Figura 17.

Dentro desse Domínio Geomorfológico, constam duas Unidades Geomorfológicas, superfícies de nível taxonômico inferior, denominadas Planícies Fluviais e Planície do Araguaia - Javaés, sendo a primeira localizada ao longo dos principais rios, e a segunda

especializada na porção oeste do território tocantinense (SEPLAN, 2017). Essas unidades geomorfológicas se encontram dentro dos limites da BHRF.

Segundo SEPLAN (2017), a unidade Planície do Araguaia-Javaés possui uma área de 28.529 km², localizando-se na porção oeste do Tocantins, com predominância sobre os municípios de Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão e Pium. Os modelados que predominam são do tipo áreas de acumulação inundáveis e, em menor medida, áreas de planícies fluviais, representados nas Figuras 19 e 20, respectivamente.



Figura 19 - Áreas de acumulação inundáveis nos municípios de Lagoa da Confusão (a) e Formoso do Araguaia (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).



Figura 20 - Planícies fluviais (a) e áreas de acumulação inundáveis (b), no município de Formoso do Araguaia. Fonte: SEPLAN-TO (2017).

SEPLAN (2017) ressalta ainda que a unidade Planície do Araguaia-Javaés encontra-se, em sua maioria, em regiões de declividade nula, com algumas porções suavemente

onduladas. Além disso, o gradiente altimétrico da área é de 97 metros, variando de 146 a 243 metros acima do mar.

Sua localização corresponde à ampla faixa deposicional, relacionada ao rio Araguaia, e seu braço menor, rio Javaés (Martins et al., 2005). Caracteriza-se por inundações periódicas, existência de padrões de drenagem anastomática, canais abandonados e lagoas circulares (Martins et al., 2005). Ainda segundo Martins et al. (2005), a Unidade Geomorfológica é limitada pela Depressão do Araguaia.

Quanto às Planícies Fluviais, estas, segundo SEPLAN (2017), possuem uma área de 4.911 km², distribuindo-se ao longo das margens dos principais rios e de forma dispersa ao longo do território tocantinense, onde os modelados são representados por terraços e planícies fluviais.

Segundo Martins et al. (2005), esta unidade corresponde à faixa de sedimentos marginais presentes nas principais drenagens do estado do Tocantins (lagos de barragens, lagos de meandros, meandros colmatados e diques fluviais), sendo ainda frequente a presença de ilhas e a formação de bancos de areia de grandes extensões.

Dantas et al (2019) destaca a natureza pouco desenvolvida destes terrenos, formados sobre sedimentos inconsolidados recentes e, em muitos casos, submetidos a forte hidromorfismo. Entretanto, Dantas et al (2019) ressalta que, apesar das inundações periódicas, elas apresentam algumas áreas com bom potencial para exploração agrícola, adaptada às peculiaridades desse ambiente. A Figura 21 mostram fotos de terraços fluviais nos municípios de Araguaçu e Gurupi, a sul e oeste da BHRF, respectivamente.

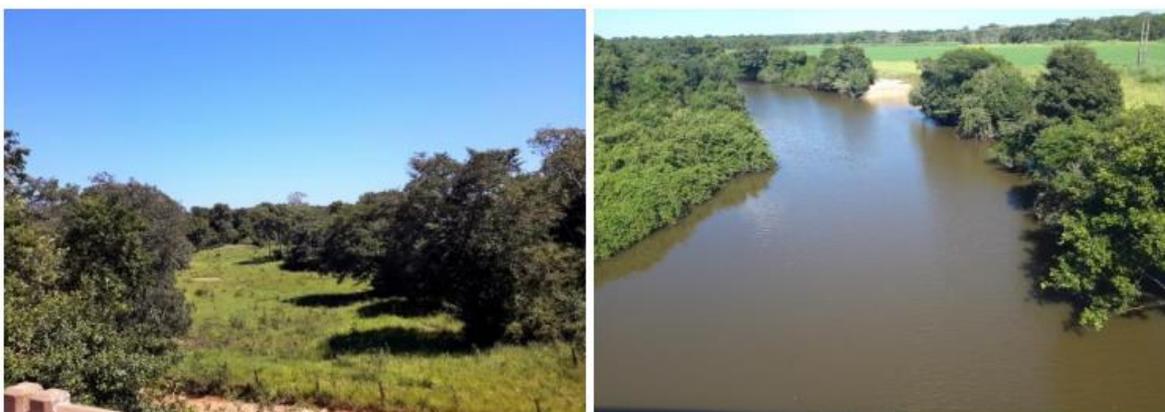


Figura 21 - Terraço fluvial localizado às margens do rio Escuro, município de Araguaçu (a), pe planícies fluviais nas margens do rio Santo Antônio, divisa dos municípios de Peixe e Gurupi (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).

Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares

De acordo com SEPLAN (2017), a Faixa de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares abrange nove unidades geomorfológicas, das quais duas estão inseridas dentro dos limites da BHRF, a Depressão de Cristalândia e a Depressão do Médio Araguaia. Este domínio morfoestrutural compreende a maior parcela da área da BHRF, ocupando na região norte toda a porção leste da bacia, se estendendo até a região sul e englobando a porção oeste e central, conforme indica a Figura 17.

O relevo da Depressão de Cristalândia, descreve SEPLAN (2017), é representado por modelados dissecados em colinas e ravinas, e em patamares (formas de dissecação), em superfícies de pediplanos (formas erosivas) e pequenas porções de planícies fluviais e áreas de acumulação inundáveis (formas de acumulação).

Sua localização a caracteriza com um divisor de águas entre bacias hidrográficas dos rios Tocantins e Araguaia, representando por quase toda sua superfície áreas de relevo plano a suavemente ondulado. A unidade apresenta cota mais baixa a 200 m, e a cota mais alta a 630 metros acima do nível do mar, denotando um gradiente altimétrico de 430 m. (SEPLAN, 2017). A Figura 22 ilustra áreas de relevo suavemente ondulado na divisa entre os municípios de Pium e Cristalândia e no município de Aliança do Tocantins.



Figura 22 - Área de relevo suavemente ondulado na divisa entre os municípios de Pium e Cristalândia (a) e no município de Aliança do Tocantins (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).

A unidade denominada Depressão do Médio e Baixo Araguaia está disposta longitudinalmente desde o sul do estado, até aproximadamente limite com a região do Bico do Papagaio. Localiza-se sobre as áreas de 39 municípios, desde Araguaçu, no extremo sul, até os municípios de Muricilândia e Aragominas, no norte do estado, ocupando uma superfície de 42.224 km² (SEPLAN, 2017).

Embora seja uma das maiores unidades geomorfológicas do estado, apresenta relativa homogeneidade quanto às formas de relevo (SEPLAN, 2017). Conforme descreve Dantas et al. (2019), seu relevo é formado por uma superfície plana bem elaborada, com o desenvolvimento de uma superfície aplainada de grande extensão ou levemente dissecada em colinas muito amplas e suaves.

O gradiente altimétrico é de 508 metros, variando de 132 a 640 metros, acima do nível do mar. A Figura 23 apresenta as ilustrações das superfícies planas representantes da Depressão do Médio e Baixo Araguaia nos municípios de Araguaçu (esquerda) e Formoso do Araguaia (direita).



Figura 23 - Superfícies planas localizadas nos municípios de Araguaçu (a) e Formoso do Araguaia (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).

Embasamentos em Estilos Complexos

Conforme SEPLAN (2017), Embasamentos em Estilos Complexos correspondem à faixa de domínio de escudo exposto pelas características morfoestruturais de relativa estabilidade, com maiores deformações nos setores de contato com domínios adjacentes, com exposição de rochas cristalinas integrantes de um cráton, envolvidas por faixas geotectônicas.

Sua localização se dá na porção sul do território tocantinense, desde os municípios de Paraíso do Tocantins, Porto Nacional e Monte do Carmo, transcendendo o limite com o estado de Goiás (SEPLAN, 2017). Na BHRF, este domínio ocupa pequenas áreas a leste da bacia, na região central e sul, conforme indicado na Figura 17.

Dentro desse Domínio, constam duas Unidades Geomorfológicas, sendo elas a Depressão do Alto Tocantins e Serra Malhada Alta. A primeira ocupa maior porção do

Domínio Geomorfológico, e a segunda localiza-se no noroeste dos Embasamentos (SEPLAN, 2017).

A Depressão do Alto Tocantins é a única unidade geomorfológica, dentro de Embasamentos em Estilos Complexos, que ocupa parcela da BHRF. Conforme Dantas et al (2019), esta unidade representa uma superfície aplainada bem elaborada, com grau de arrasamento notável sobre um diversificado conjunto litológico, remanescendo apenas pequenas cristas isoladas sustentadas, geralmente, por rochas muito resistentes ao intemperismo.

Dantas et al (2019) ainda destaca as cotas muito baixas da unidade, que variam de 250 a 450 metros de altitude, com caimento gradual e muito suave para sul e para oeste. A Figura 24 apresenta superfícies planas localizadas nos municípios de Peixe e Santa Rosa do Tocantins



Figura 24 - Superfícies planas localizadas nos municípios de Peixe (a) e Santa Rosa do Tocantins (b). Fonte: SEPLAN-TO (2017).

4.1.3.3 Declividade

Segundo SHRMA (2007), a BHRF é caracterizada pela predominância de declives de até 10%, havendo, na maior parte da área, uma declividade de 0 a 5%, configurando portanto, um relevo plano a suavemente ondulado. A Figura 25 apresenta as classes de declividade para a BHRF, apresentando os intervalos com as dominações A, B, C, D, E e F.

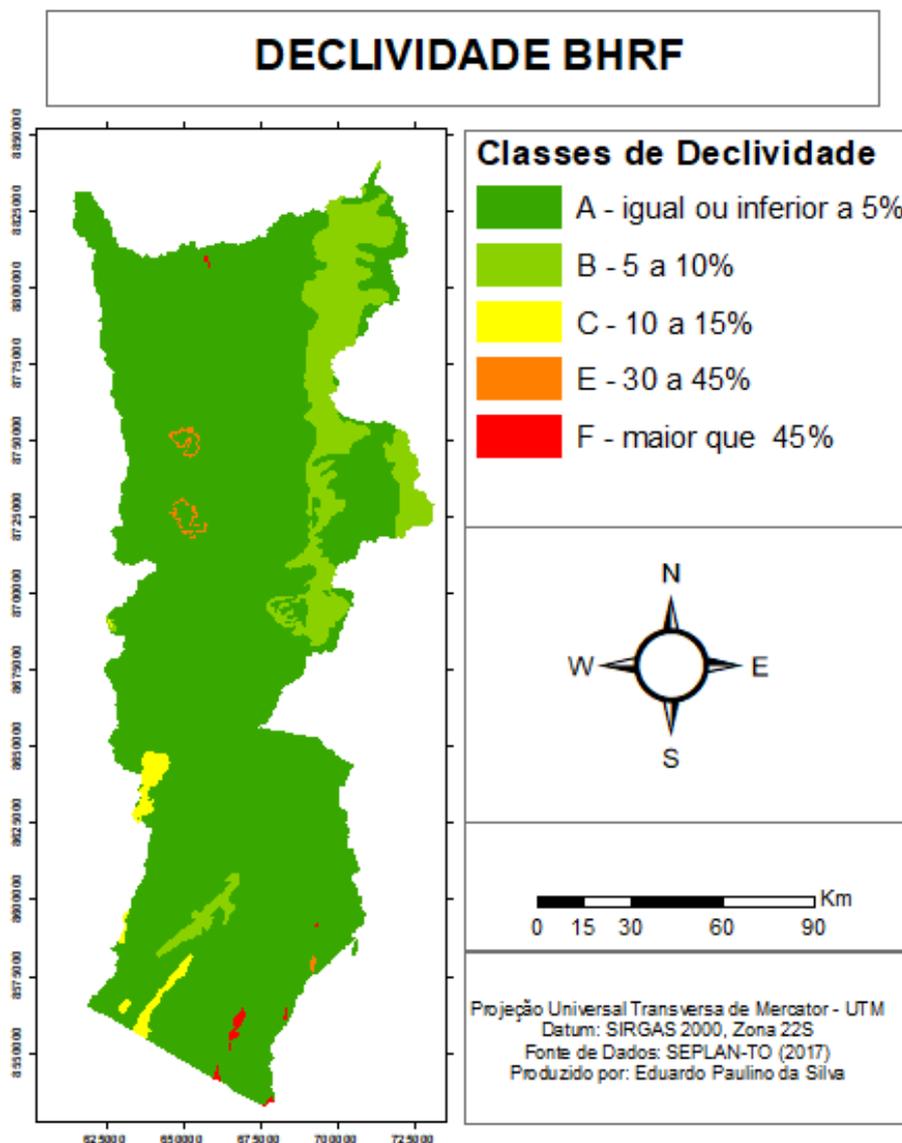


Figura 25 - Classes de Declividade encontradas na BHRF.

Conforme SEPLAN-TO (2012), cada classe de declividade mostrada na Figura 25 apresenta as seguintes características:

- **A (declive igual ou inferior a 5%):** predominância de áreas com declives suaves, onde o escoamento superficial é lento ou médio. O declive por si só não impossibilita ou dificulta o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola mais comum. A erosão hídrica não oferece grandes problemas, sendo recomendável, em alguns tipos de solo, práticas mais simples de conservação.
- **B (declive maior que 5% e igual ou inferior a 10%):** há o predomínio de áreas com a superfície inclinada, geralmente com relevo ondulado, onde o

escoamento superficial, para a maior parte dos solos, varia de médio a rápido. O declive, por si só, não prejudica o uso de máquinas agrícolas. Em alguns casos, a erosão hídrica pode representar pequenos problemas que podem ser controlados através de práticas simples, entretanto, na maioria das vezes, práticas complexas de conservação do solo são necessárias para que terras com esse declive possam ser cultivadas de forma intensiva.

- **C (declive maior que 10% e igual ou inferior a 15%):** predominância de áreas inclinadas ou colinosas, nas quais o escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos. Se o declive não for muito complexo, a maior parte das máquinas agrícolas podem ser usadas. Solos dessa classe apresentam alta erodibilidade, a menos que sejam muito permeáveis e não muito arenosos, como alguns tipos de latossolo. Práticas de conservação do solo são recomendadas e necessárias para todos esses casos.
- **E (declividade maior que 30% e igual ou inferior a 45%):** áreas fortemente inclinadas, onde o escoamento superficial é muito rápido. Os solos podem ser trabalhados mecanicamente somente através de máquinas simples de tração animal, havendo, ainda assim, sérias limitações. Terras nessa condição não são adequadas para a agricultura e restritas para a pastagem, sendo mais indicadas para a silvicultura.
- **F (declive maior 45%):** predominância de áreas íngremes, regiões montanhosas, não sendo possível o tráfego de nenhuma máquina agrícola. O escoamento superficial é sempre muito rápido e os solos são extremamente suscetíveis à erosão hídrica. Só podem ser trabalhadas com o uso de instrumentos e ferramentas manuais, sendo inadequadas para a produção agrícolas

A classe A cobre uma área de cerca de 87% da BHRF, abrangendo as regiões onde há o desenvolvimento da agricultura irrigada. A classe B apresenta uma faixa que ocupa a porção leste da bacia e se estende até a região central, além de algumas pequenas porções a oeste e sul, totalizando uma área correspondente a 11% da bacia. As demais classes, C, E e F, com maiores declives, representam a parcela restante, com 2%.

4.1.3.4 Pedologia

De acordo com o mapa de solos do estado do Tocantins, obtido de SEPLAN-TO (2017), as classes de solos predominantes na BHRF, em ordem decrescente, são: Plintossolos (67,1%), Latossolos (24,6%), Gleissolos (3,5%), Argissolos (2,8%) e Neossolos (1,9%). A Figura 26 apresenta o mapa de pedologia da BHRF.

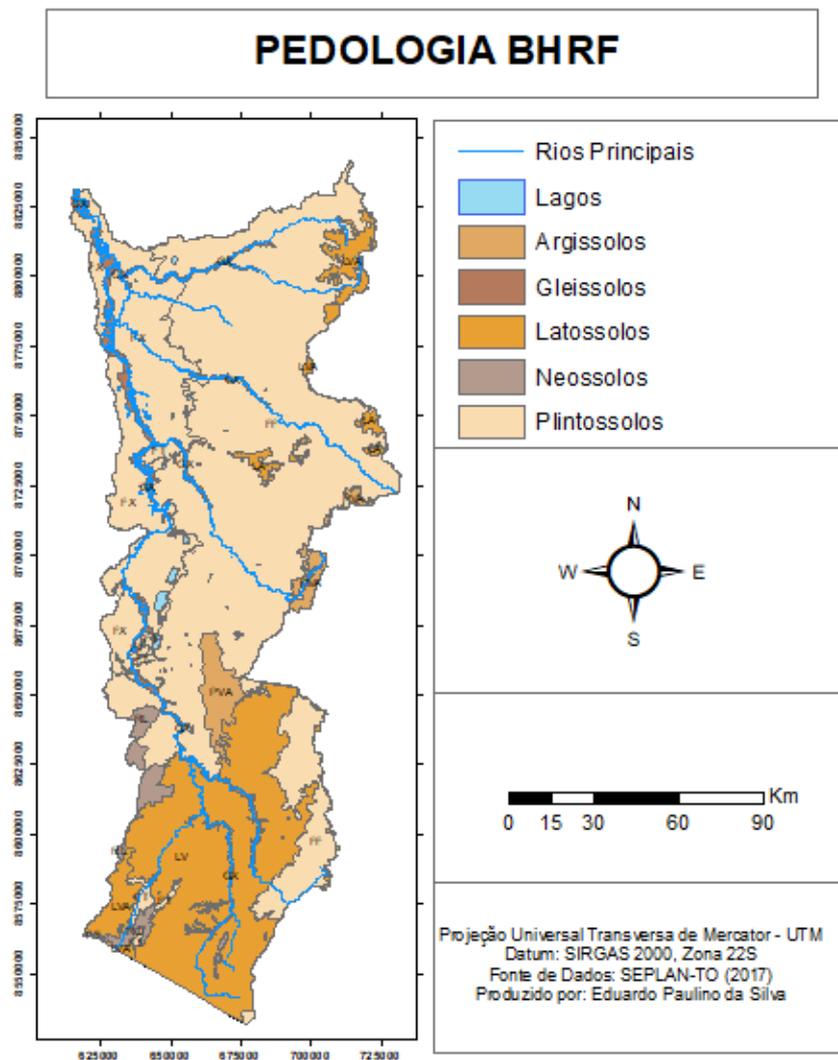


Figura 26 - Mapa de Pedologia da BHRF-TO.

Os plintossolos cobrem a maior parcela da área da BHRF, ocupando quase que completamente as porções norte e central, além de apresentarem áreas no sul e sudeste da bacia. Segundo SEPLAN-TO (2017), essa unidade taxonômica abrange solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água, o que os leva ao efeito temporário

de excesso de umidade. Geralmente apresentam horizonte B textural sobre ou coincidente com os horizontes plíntico ou concrecionário, ocorrendo também, solos com horizonte B incipiente, B latossólico, horizonte glei e solos sem horizonte B. Na BHRF são identificados os plintossolos do tipo pétrico (FF), argilúvico (FT) e háplico (FX).

Os latossolos representam a segunda maior ocorrência na BHRF, onde são encontrados os tipos: amarelo (LA), vermelho (LV) e vermelho-amarelo (LVA). São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de fortes transformações no material constitutivo. Geralmente são muito profundos, apresentam alta permeabilidade e podem ser trabalhados em grande amplitude de umidade. Manifestam sequência de horizontes A, B e C com pouca diferenciação de sub-horizontes, e transições habitualmente difusas ou graduais (SEPLAN-TO, 2017; EMBRAPA, 2021).

Os gleissolos ocorrem às margens dos rios da BHRF. São definidos como solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei que pode ser um horizonte subsuperficial (C, B ou E) ou superficial A. Encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, a não ser que sejam artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente ou a saturação ocorre devido ao fluxo lateral do solo. Em qualquer caso, a água pode ascender capilarmente, alcançando a superfície (SEPLAN-TO, 2017; EMBRAPA, 2001).

Os argissolos ocorrem na região central e no extremo leste da BHRF. De acordo com EMBRAPA (2021), os argissolos são medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados e apresentam horizonte B textural de cores vermelhas a amarelas e textura argilosa, abaixo de um horizonte A ou E de cores mais claras e textura arenosa ou média, com baixos teores de matéria orgânica. A subclasse de argissolo encontrada na BHRF é o vermelho-amarelo (PVA).

Por fim, a classe de solo com a menor área na BHRF é o neossolo, que cobre pequenas áreas das regiões sul e sudoeste da bacia, onde são identificadas as subclasses neossolo litólico (RL) e neossolo quartzarênico (RQ). Segundo SEPLAN-TO (2017), essa classe de solo é formada por material mineral ou orgânico pouco espesso, que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário por conta da baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja por conta de características inerentes ao próprio material de origem, ou por influência dos demais fatores de formação, tais como clima, relevo ou tempo, que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

4.2 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

A modelagem da BHRF no WEAP foi realizada para o período que se inicia em 1º de julho de 2018 e se estende até o dia 30 de junho de 2021, considerando um passo de tempo diário. O sistema exige dados relacionados às variáveis climáticas e de solo, necessárias para a simulação dos processos hidrológicos através do Método de Umidade do Solo, bem como dados de demanda e disponibilidade hídrica

Para melhor simulação dos processos hidrológicos no WEAP, a BHRF foi dividida em 9 sub-bacias. Além das sub-bacias do Urubu, Ribeirão Lago Verde, Dueré, Xavante, Pau Seco e Pias, subdividiu-se a sub-bacia do rio Formoso em 3 devido à sua extensão, sendo elas: alto Formoso, que vai da cabeceira do rio Formoso até a confluência com o rio Pau Seco; médio Formoso, que parte da junção do rio Pau Seco com o rio Formoso e termina na confluência do rio Xavante, abrangendo a região do DIRF; e baixo Formoso, que se estende até a foz do rio Formoso. Esta configuração é apresentada na Figura 27 .

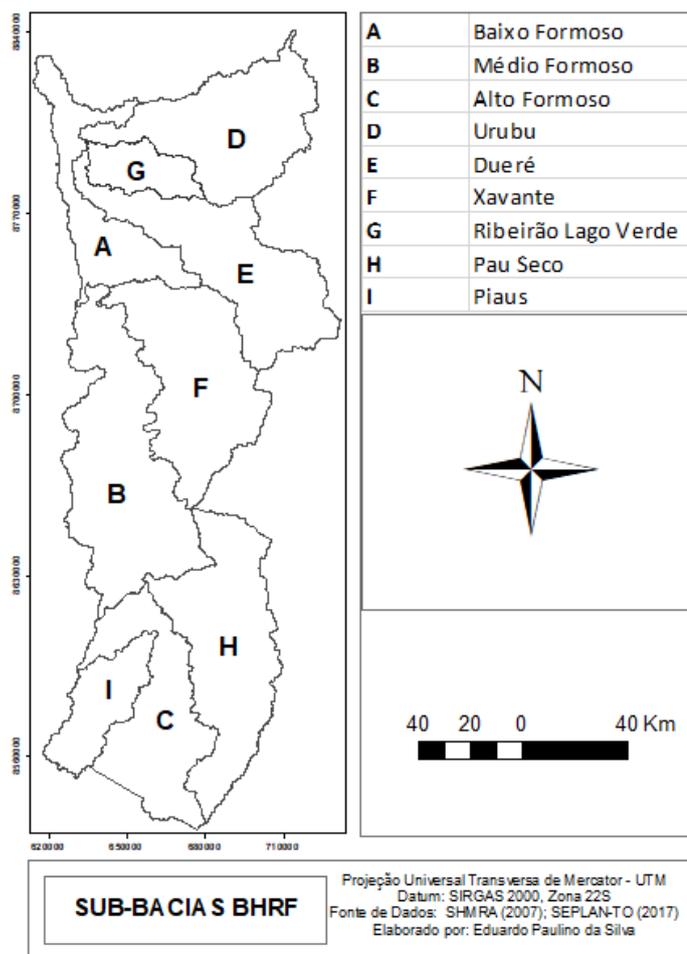


Figura 27 - Divisão da BHRF em 9 sub-bacias para a aplicação da modelagem no WEAP.

4.2.1 Dados Climáticos

O Método de Umidade do Solo exige dados de entrada para as seguintes variáveis climatológicas: Precipitação Total (mm), Temperatura (°C), Umidade do Ar (%), Velocidade do Vento (m/s), Fração de Nebulosidade e Albedo. O tratamento e análise desses dados são apresentados nos sub-itens 4.2.1 a 4.2.4.

4.2.1.1 Precipitação

Os dados de precipitação total inseridos no WEAP foram obtidos de séries históricas de lâmina precipitada, registradas por estações pluviométricas e/ou telemétricas instaladas dentro dos limites ou nas proximidades da BHRF. Essas informações foram adquiridas do aplicativo online do Projeto GAN (<https://gan.iacuft.org.br/pagina/principal>), porém pertencem originalmente ao banco de dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), cujo acesso é realizado pelo Hidroweb, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A RHN é coordenada pela ANA e conta com a parceria de outras instituições federais, além de entidades estaduais para realizar o monitoramento e disponibilizar informações de diferentes parâmetros de interesse hidrológico. A RHN possuía, em 2020, quase 23 mil estações sob responsabilidade de várias entidades, das quais a ANA gerencia diretamente 4.841 estações, sendo: 2.717 estações pluviométricas, 2.024 estações fluviométricas (ANA, 2023).

Das 28 estações identificadas na BHRF, foram selecionadas 19 para a determinação da precipitação média nas sub-bacias da área de estudo, tendo em vista que as demais estações não apresentaram dados registrados ao longo de pelo menos um ano para o período de modelagem. A geoespacialização e as informações sobre essas estações pluviométricas são apresentadas na Figura 28 e Tabela 5, respectivamente.

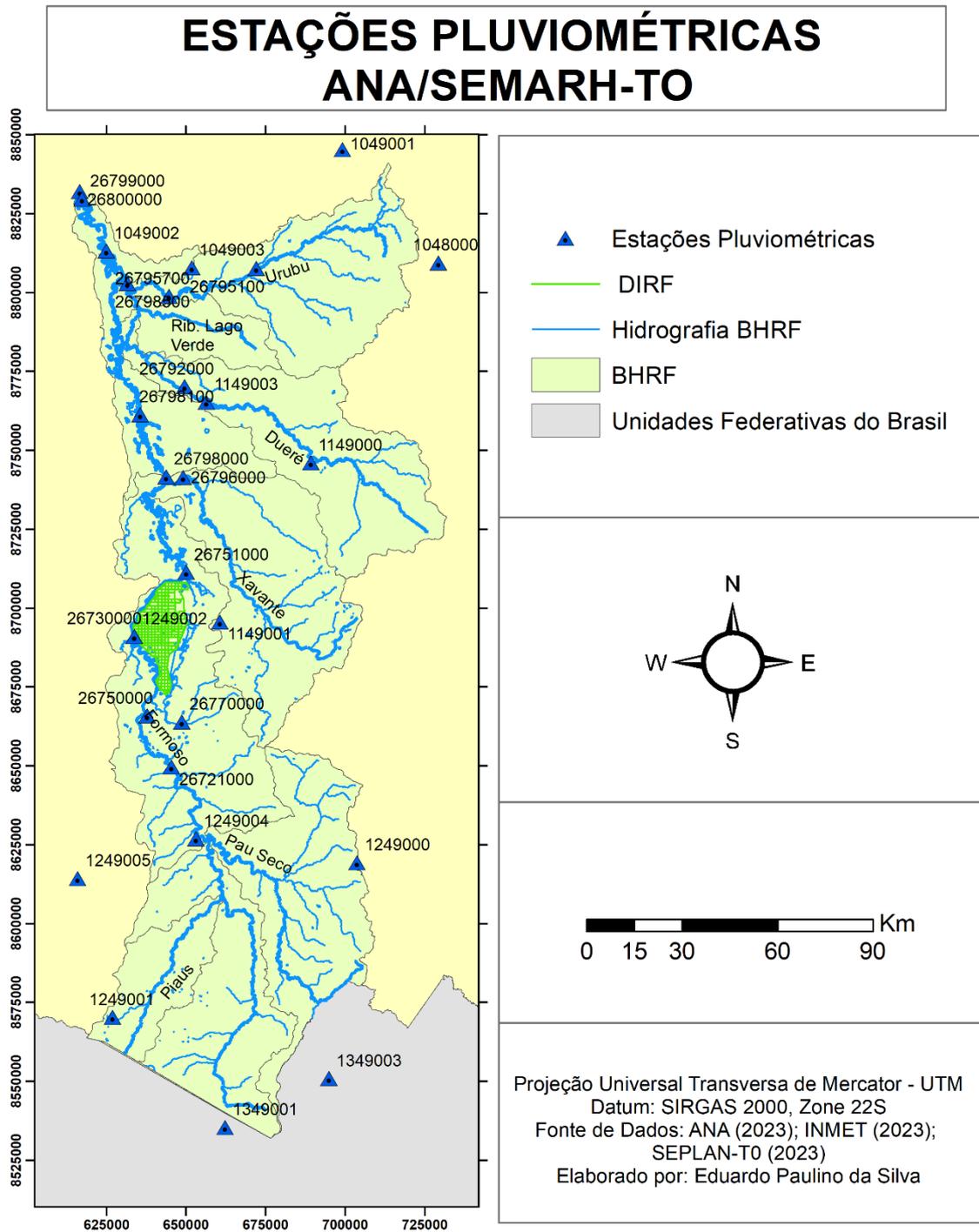


Figura 28 - Estações pluviométrica identificadas na região da BHRF

Tabela 5 - Estações pluviométricas utilizadas na modelagem da BHRF no WEAP.

Código	Estação	Responsável	Operador	Latitude (°)	Longitude (°)
1249000	Alvorada	ANA	CPRM	-12.4836	-49.1244
1249001	Araguaçu	ANA	CPRM	-12.9311	-49.8294
26800000	Barreira da Cruz	ANA	CPRM	-10.5647	-49.9342
26721000	Dorilândia	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-12.2125	-49.6628
1149000	Dueré	ANA	CPRM	-11.3389	-49.2653
1349003	Entroncamento São Miguel	ANA	CPRM	-13.1028	-49.2014
1048000	Fátima	ANA	CPRM	-10.7636	-48.9022
26792000	Foz Rio Dueré	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-11.1222	-49.6303
26799000	Foz Rio Formoso	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-10.5856	-49.9264
26798500	Foz Rio Urubu	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-10.8278	-49.7956
26796000	Foz Rio Xavante	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-11.3831	-49.6324
1349001	Novo Planalto	ANA	CPRM	-13.2447	-49.5017
1049001	Pium	ANA	CPRM	-10.4411	-49.1792
1249004	Praia Alta	ANA	CPRM	-12.4181	-49.59
26730000	Projeto Rio Formoso	ANA	CPRM	-11.8392	-49.7711
1049002	Próximo Barreira da Cruz	ANA	CPRM	-10.7344	-49.8564
26798000	Rio Formoso	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-11.3811	-49.6819
26795700	Rio Urubu Faz. Fortaleza	SEMARH-TO	SEMARH-TO	-10.8636	-49.6756
1249005	Sandolândia	ANA	CPRM	-12.5336	-49.9319

Ao analisar as séries históricas das estações apresentadas na Tabela 5, foram encontrados dias com falhas na medição dos dados. Para cada estação com falhas, aplicou-se o Método da Média Aritmética, no qual as lacunas foram preenchidas por meio do cálculo da média dos dados das estações mais próximas.

Após o preenchimento das falhas, determinou-se a precipitação média nas sub-bacias da BHRF por meio do Método dos Polígonos de Thiessen. De acordo com Tucci (2001), este método apresenta bons resultados em terrenos levemente acidentados, quando a localização e exposição dos postos pluviométricos são semelhantes e as distâncias entre eles não são muito grandes. A Figura 29 apresenta os polígonos de Thiessen obtidos para cada uma das sub-bacias através da ferramenta Arc Map 10.7.

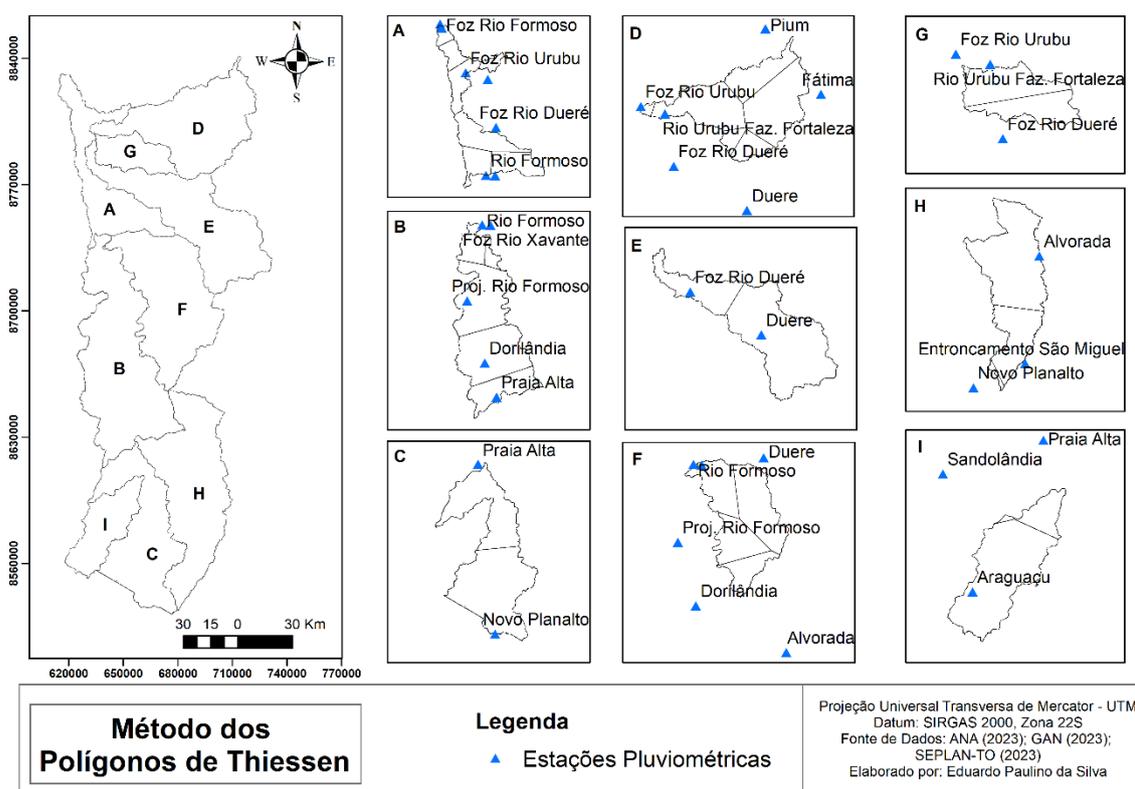


Figura 29 - Polígonos de Thiessen obtidos para cada uma das sub-bacias da BHRF para obtenção da precipitação média.

Os gráficos de precipitação média apresentados no Apêndice A demonstram que o regime de chuvas nas sub-bacias da BHRF é bastante semelhante. Ao longo de um ano hidrológico, são identificados dois períodos bastante distintos: um chuvoso, que tem início em novembro e perdura até o final de abril, e outro seco, que começa em maio e se prolonga até outubro.

4.2.1.2 Temperatura, Velocidade do Vento e Umidade Relativa

Os dados diários de temperatura, umidade e velocidade do vento foram obtidos de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estas estações realizam o registro de variáveis atmosféricas que são armazenadas no Banco de Dados Meteorológicos do INMET, o BDMEP. Ao todo, foram selecionadas 5 estações automáticas. A geoespacialização destas estações, bem como suas informações, são apresentadas na Figura 30 e Tabela 6, respectivamente.

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS - INMET

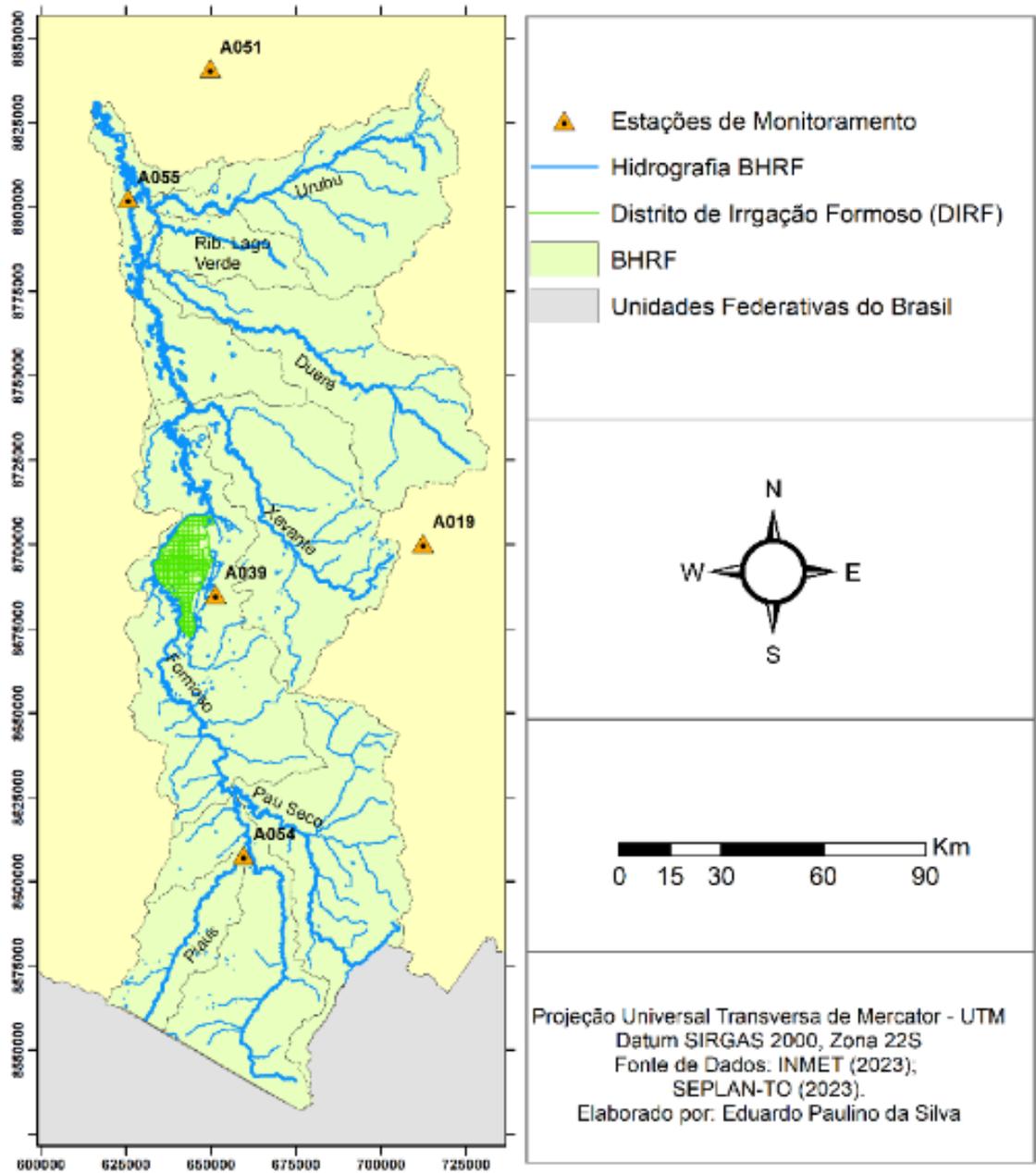


Figura 30 - Estações meteorológicas do INMET utilizadas para a modelagem no WEAP.

Tabela 6 - Estações meteorológicas utilizadas na modelagem hidrológica da BHRF no WEAP.

Código	Estação	Responsável	Latitude (°)	Longitude (°)
A054	Araguaçu	INMET	-12,59	-49,53
A039	Formoso do Araguaia	INMET	-11,89	-49,61
A019	Gurupi	INMET	-11,75	-49,05
A055	Lagoa da Confusão	INMET	-10,83	-49,85
A051	Pium	INMET	-10,48	-49,63

Devido à presença de lacunas nas séries históricas das estações Araguaçu, Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, localizadas dentro dos limites da BHRF, aplicou-se método de preenchimento de falhas. Para isso, foram selecionadas as estações Gurupi e Pium, instaladas nas adjacências da área de estudo, para a aplicação do método.

Segundo Bier e Ferraz (2016), existe uma ampla variedade de métodos com esta finalidade, desde os mais simples, como o cálculo da média aritmética entre dados oriundos de estações vizinhas, até os mais apurados, como redes neurais, caracterizadas por algoritmos computacionais. Usualmente, os métodos são baseados em fórmulas estatísticas ou em algoritmos desenvolvidos com o intuito de gerar estimativas para os dados faltantes.

Estudos que avaliam a aplicabilidade de métodos estatísticos no preenchimento de falhas de dados climatológicos, mostram que o Método de Regressão Linear Múltipla (RLM) produz resultados satisfatórios, sobretudo para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar (Ventura et al., 2016; Bier e Ferraz, 2016; Machado e Assis, 2018). Assim, na análise de cada uma das variáveis atmosféricas, optou-se pela aplicação do RLM aos dias em que somente uma das estações selecionadas apresentou falhas na série histórica. Aos demais dias sem dados, empregou-se o Método Regressão Linear Simples (RLS), priorizando as melhores correlações entre os dados das estações.

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os resultados da aplicação do RLM para o preenchimento dos dados faltantes de Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Velocidade do Vento, respectivamente. Para cada variável climática, determinou-se uma equação de RLM a cada estação do INMET, bem como as respectivas estatísticas, representadas pelo Coeficiente de Correlação de Pearson (R), Coeficiente de Determinação (R^2), R^2 ajustado e Erro Padrão

Tabela 7 - Equações de RLM e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura das estações do INMET selecionadas.

Variável Dependente(Y)	Temperatura (°C) Equações de RLM *	Estatísticas			
		R	R ²	R ² Ajust.	Erro Padrão
	$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5$				
A054	$Y = 0,63 + 0,17X_2 + 0,73X_3 - 0,03X_4 + 0,11X_5$	0,93	0,87	0,87	0,63
A039	$Y = 4,12 + 0,32X_1 + 0,3X_3 + 0,59X_4 - 0,35X_5$	0,85	0,72	0,72	0,86
A019	$Y = -1,57 + 0,59X_1 + 0,13X_2 + 0,17X_4 + 0,17X_5$	0,95	0,89	0,89	0,56
A055	$Y = 0,82 - 0,010X_1 + 0,13X_2 + 0,09X_3 + 0,76X_5$	0,96	0,93	0,93	0,41
A051	$Y = 1,067 + 0,05X_1 - 0,09X_2 + 0,11X_3 + 0,89X_4$	0,96	0,91	0,91	0,44

*Coeficientes: b0 = Interseção; b1 = Araguaçu; b2 = Formoso do Araguaia; b3 = Gurupi; b4 = Lagoa da Confusão; b5 = Pium.

Tabela 8 - Equações de RLM e respectivas estatísticas obtidas para os dados de umidade relativa do ar das estações do INMET selecionadas.

Variável Dependente (Y)	Umidade Relativa do Ar (%) Equações de RLM *	Estatísticas			
		R	R ²	R ² Ajust.	Erro Padrão
	$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5$				
A054	$Y = 11,71 + 0,30X_2 + 0,62X_3 + 0,05X_4 - 0,09X_5$	0,94	0,88	0,88	4,94
A039	$Y = -33,2 + 0,24X_1 + 0,43X_3 + 0,35X_4 + 0,32X_5$	0,97	0,94	0,94	4,37
A019	$Y = -1,49 + 0,29X_1 + 0,26X_2 + 0,09X_4 + 0,31X_5$	0,97	0,94	0,94	3,43
A055	$Y = 3,29 + 0,02X_1 + 0,16X_2 + 0,07X_3 + 0,73X_5$	0,97	0,95	0,95	2,94
A051	$Y = 15,28 - 0,03X_1 + 0,11X_2 + 0,18X_3 + 0,58X_4$	0,97	0,95	0,95	2,62

*Coeficientes: b0 = Interseção; b1 = Araguaçu; b2 = Formoso do Araguaia; b3 = Gurupi; b4 = Lagoa da Confusão; b5 = Pium.

Tabela 9 - Equações de RLM e respectivas estatísticas obtidas para os dados de velocidade do vento das estações do INMET selecionadas.

Variável Dependente (Y)	Velocidade do Vento (m/s) Equações de RLM *	Estatísticas			
		R	R ²	R ² Ajust.	Erro Padrão
	$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5$				
A054	$Y = 0,56 + 0,23X_2 + 0,45X_3 - 0,08X_4 + 0,31X_5$	0,76	0,59	0,59	0,27
A039	$Y = -0,05 + 0,3X_1 + 0,39X_3 + 0,64X_4 + 0,01X_5$	0,80	0,64	0,64	0,31
A019	$Y = -0,28 + 0,37X_1 + 0,25X_2 + 0,19X_4 + 0,05X_5$	0,79	0,62	0,62	0,25
A055	$Y = 0,16 - 0,03X_1 + 0,19X_2 + 0,09X_3 + 0,51X_5$	0,82	0,67	0,67	0,17
A051	$Y = 0,31 + 0,14X_1 + 0,004X_2 + 0,03X_3 + 0,62X_4$	0,78	0,61	0,61	0,18

*Coeficientes: b0 = Interseção; b1 = Araguaçu; b2 = Formoso do Araguaia; b3 = Gurupi; b4 = Lagoa da Confusão; b5 = Pium.

As estatísticas obtidas com a aplicação do método RLM mostram melhores resultados para as variáveis Temperatura e Umidade Relativa do Ar. O menor valor de R para essas duas variáveis é 0,85, mostrando uma forte correlação entre os dados monitorados e os dados modelados pela RLM. De uma forma geral, o mesmo ocorre com o coeficiente R². Em contrapartida, as estatísticas obtidas pela RLM para os dados de velocidade do vento em cada estação são inferiores, mas ainda assim foram considerados satisfatórios.

A Tabela 10 apresenta os resultados da aplicação do RLS no preenchimento de falhas das séries históricas de Temperatura, Umidade e Velocidade do Vento para a estação Araguaçu, considerando como variáveis independentes as estações Formoso do Araguaia, Gurupi, Lagoa da Confusão e Pium.

Tabela 10 - Equações de RLS e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento para a estação Araguaçu

ARAGUAÇU (Y)	Variáveis Independentes			
	Formoso do Araguaia (X2)	Gurupi (X3)	Lagoa da Confusão (X4)	Pium (X5)
TEMPERATURA				
Equações	$Y = 0,85X_2 + 3,30$	$Y = 0,93X_3 + 1,94$	$Y = 0,99X_4 + 0,23$	$Y = 0,95X_5 + 1,63$
R	0,83	0,93	0,84	0,81
R ²	0,69	0,86	0,71	0,65
R ² Modificado	0,69	0,86	0,71	0,65
Erro Padrão	1,02	0,66	0,95	1,05
UMIDADE				
Equações	$Y = 0,72X_2 + 22,43$	$Y = 0,92X_3 + 6,61$	$Y = 0,99X_4 - 7,37$	$Y = 0,93X_5 - 3,38$
R	0,91	0,90	0,89	0,83
R ²	0,83	0,82	0,79	0,68
R ² Modificado	0,83	0,82	0,79	0,68
Erro Padrão	5,67	5,92	6,21	7,84
VEL. DO VENTO				
Equações	$Y = 0,54X_2 + 0,845$	$Y = 0,74X_3 + 0,95$	$Y = 0,78X_4 + 0,79$	$Y = 0,83X_5 + 0,64$
R	0,65	0,68	0,56	0,55
R ²	0,42	0,46	0,31	0,30
R ² Modificado	0,42	0,46	0,31	0,30
Erro Padrão	0,31	0,31	0,33	0,36

Assim como na aplicação do modelo RLM, as estatísticas da RLS para as variáveis Temperatura e Umidade Relativa do Ar são superiores às obtidas para a variável Velocidade

do Vento, o que indica que essa não é bem explicada pelo modelo de regressão, quando comparada com as demais variáveis.

Não se observa uma relação inversamente proporcional entre a distância da estação Araguaçu para as demais estações meteorológicas e os valores das estatísticas, quando se avalia a Temperatura.. Entretanto, tal comportamento é observado para a Umidade. A estação Pium é a mais distante da estação Araguaçu e também a que apresenta os menores valores de R, R² e R² modificado. Em contrapartida, a estação mais próxima, a Formoso do Araguaia, apresenta os maiores valores de coeficientes. Esse comportamento é parcialmente observado quando se avalia as estatísticas obtidas para as equações de regressão da Velocidade do Vento.

Nas Figuras 31 , 32 e 33 são apresentados os valores diários finais de Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Velocidade do Vento para o período de modelagem (1/07/2018 a 30/06/2021), após a aplicação dos métodos RLS e RLM à séries históricas da estação Araguaçu.

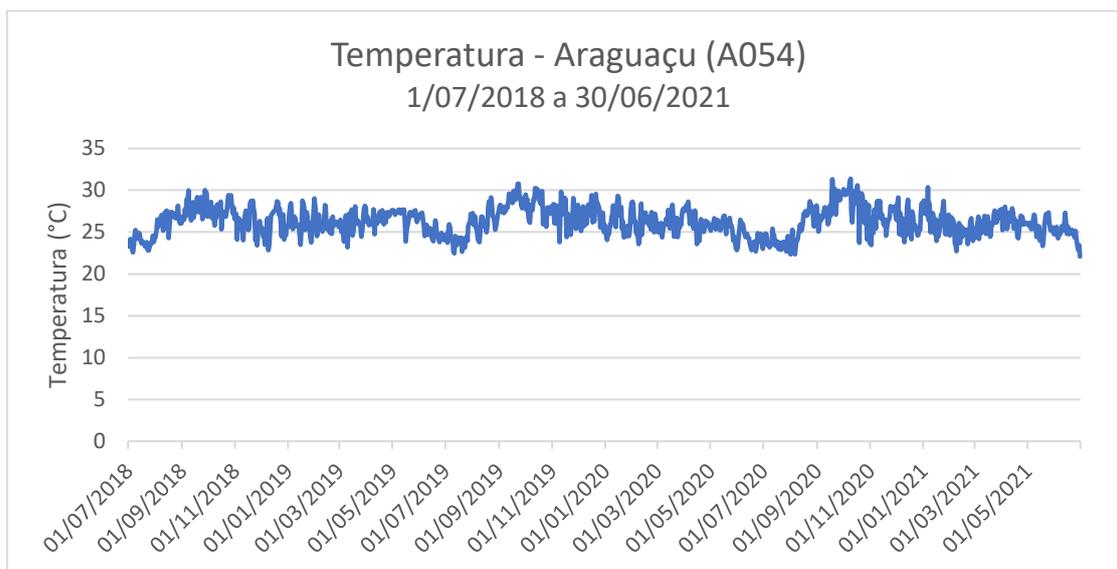


Figura 31 - Temperatura média diária para a estação Araguaçu (A054).

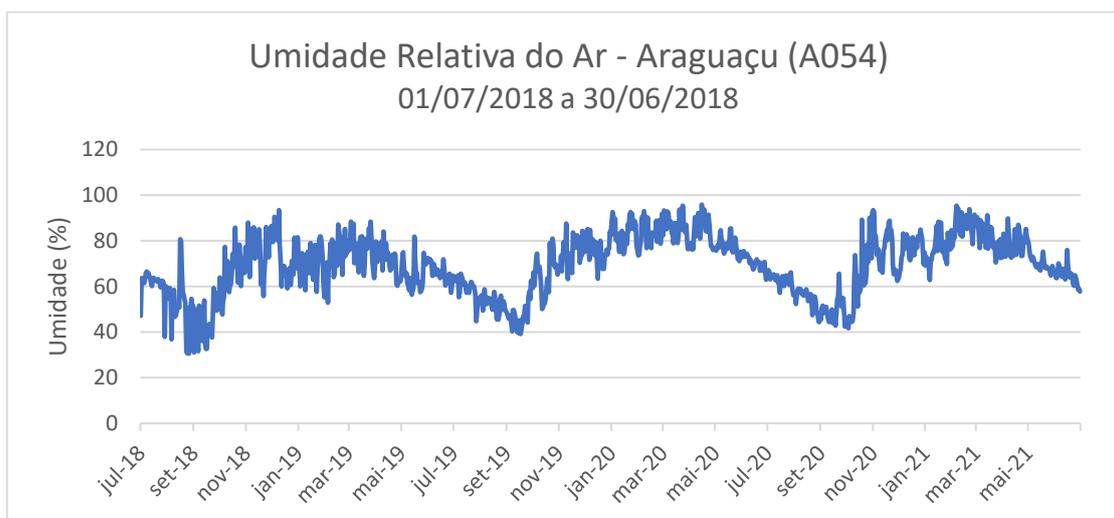


Figura 32 - Umidade Relativa do Ar média diária para a estação Araguaçu (A054).

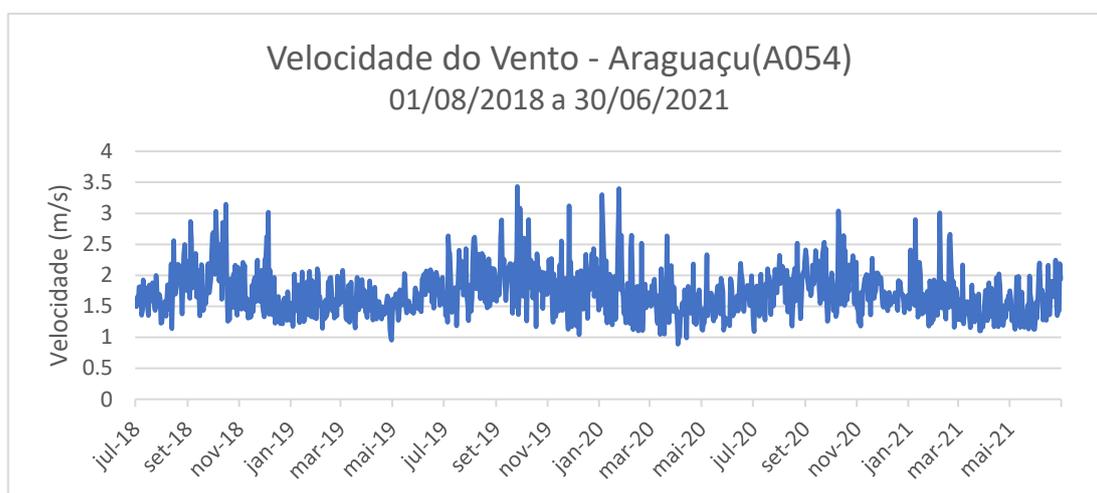


Figura 33 - Velocidade do Vento média diária para a estação Araguaçu (A054).

As séries históricas preenchidas de Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Velocidade do Vento da estação Araguaçu foram inseridas no WEAP como dados climáticos de entrada para as sub-bacias Alto Formoso, Pias e Pau Seco, localizadas na porção sul da BHRF.

A Tabela 11 apresenta os resultados da aplicação da RLS no preenchimento de falhas das séries históricas de Temperatura, Umidade e Velocidade do Vento para a estação Formoso do Araguaia, considerando como variáveis independentes as estações Araguaçu, Gurupi, Lagoa da Confusão e Pium

Tabela 11 - Equações de RLS e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento para a estação Formoso do Araguaia.

FORMOSO DO ARAGUAIA (Y)	Variáveis Independentes			
	Araguaçu (X1)	Gurupi (X3)	Lagoa da Confusão (X4)	Pium (X5)
TEMPERATURA				
Equações	$Y = 0,81.X1 + 5,45$	$Y = 0,82.X3 + 5,09$	$Y = 0,88.X4 + 3,80$	$Y = 0,84.X5 + 4,94$
R	0,83	0,83	0,78	0,73
R ²	0,69	0,69	0,61	0,53
R ² Modificado	0,69	0,69	0,61	0,53
Erro Padrão	0,99	0,93	1,02	1,13
UMIDADE				
Equações	$Y = 1,14.X1 - 14,29$	$Y = 1,19.X3 - 15,83$	$Y = 1,32.X4 - 37,63$	$Y = 1,28.X5 - 35,16$
R	0,91	0,94	0,94	0,91
R ²	0,83	0,88	0,89	0,83
R ² Modificado	0,83	0,88	0,89	0,83
Erro Padrão	7,14	5,86	5,76	7,04
VEL. DO VENTO				
Equações	$Y = 0,78.X1 + 0,31$	$Y = 0,89.X3 + 0,71$	$Y = 1,14.X4 + 0,31$	$Y = 1,06.X5 + 0,24$
R	0,65	0,72	0,67	0,62
R ²	0,42	0,51	0,45	0,39
R ² Modificado	0,42	0,51	0,45	0,39
Erro Padrão	0,37	0,34	0,35	0,38

Nas Figuras 34 , 35 e 36 são apresentados os valores diários finais de Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Velocidade do Vento para o período de modelagem (1/07/2018 a 30/06/2021), após a aplicação dos métodos RLS e RLM às séries históricas da estação Formoso do Araguaia.

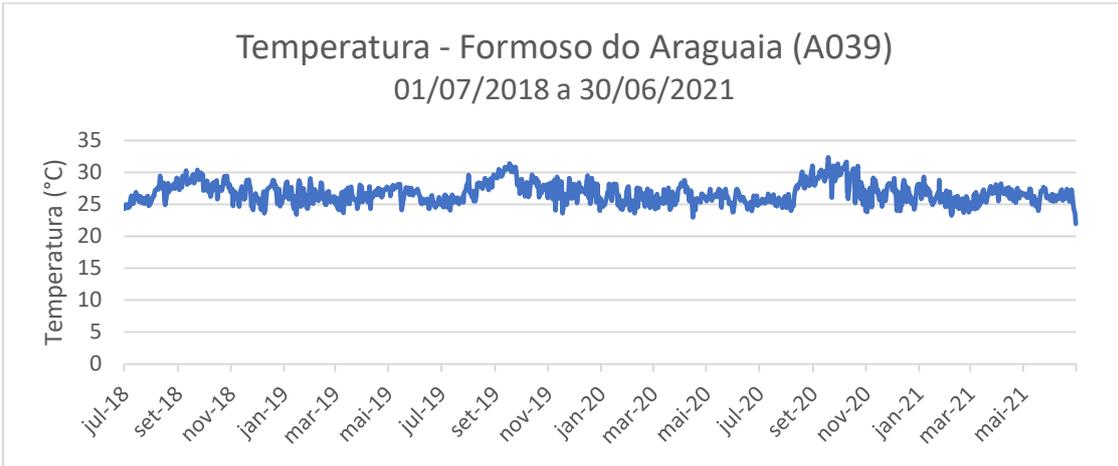


Figura 34 - Temperatura média diária para a estação Formoso do Araguaia (A039).

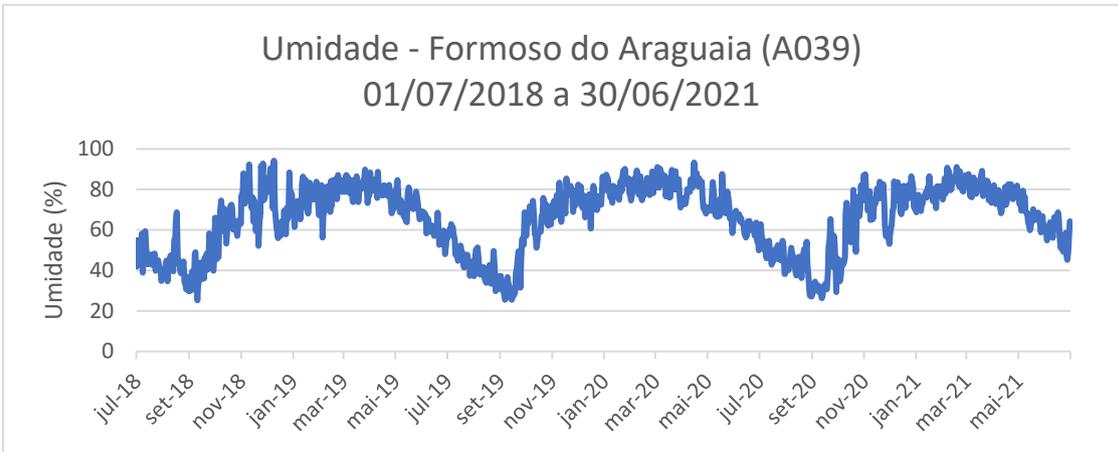


Figura 35 - Umidade Relativa do Ar média diária para a estação Formoso do Araguaia (A039).

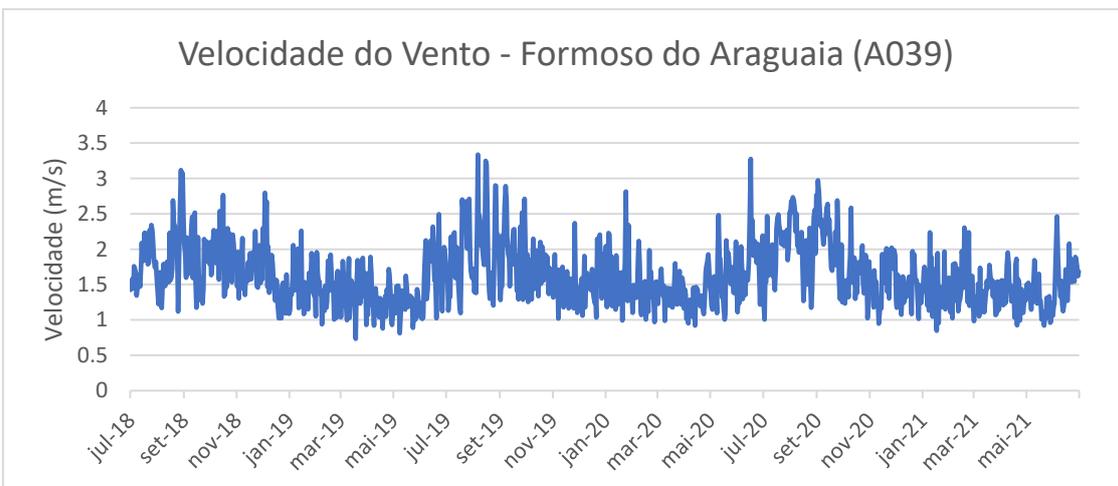


Figura 36 - Velocidade do Vento média diária para a estação Formoso do Araguaia (A039).

Os registros históricos de Temperatura, Umidade e Velocidade do Vento da Estação Formoso do Araguaia, após o preenchimento de falhas, foram inseridos no WEAP como dados climáticos de entrada das sub-bacias localizadas na porção central da BHRF: Médio Formoso e Xavante.

A Tabela 12 apresenta os resultados da aplicação da RLS no preenchimento de falhas das séries históricas de Temperatura, Umidade e Velocidade do Vento para a estação Formoso do Araguaia, considerando como variáveis independentes as estações Araguaçu, Gurupi, Lagoa da Confusão e Pium.

Tabela 12 - Equações de RLS e respectivas estatísticas obtidas para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento para a estação Lagoa da Confusão.

LAGOA DA CONFUSÃO (Y)	Variáveis Independentes			
	Araguaçu (X1)	Formoso do Araguaia (X2)	Gurupi (X3)	Pium (X5)
TEMPERATURA				
Equações	$Y = 0,71.X1 + 7,34$	$Y = 0,70.X2 + 7,29$	$Y = 0,72.X3 + 7,16$	$Y = 0,94.X5 + 1,74$
R	0,84	0,78	0,86	0,95
R ²	0,71	0,62	0,74	0,91
R ² Modificado	0,71	0,62	0,74	0,91
Erro Padrão	0,81	0,91	0,73	0,44
UMIDADE				
Equações	$Y = 0,79.X1 + 21,97$	$Y = 0,67.X2 + 34,14$	$Y = 0,86.X3 + 19,16$	$Y = 0,93.X5 + 5,11$
R	0,89	0,94	0,92	0,93
R ²	0,79	0,89	0,85	0,87
R ² Modificado	0,79	0,89	0,85	0,87
Erro Padrão	5,56	4,11	4,96	4,58
VEL. DO VENTO				
Equações	$Y = 0,62.X1 + 0,002$	$Y = 0,39.X2 + 0,33$	$Y = 0,45.X3 + 0,71$	$Y = 0,74.X5 + 0,19$
R	0,56	0,67	0,62	0,76
R ²	0,31	0,45	0,38	0,58
R ² Modificado	0,31	0,45	0,38	0,58
Erro Padrão	0,23	0,21	0,22	0,18

Nas Figuras 37 , 38 e 39 são apresentados os valores diários finais de Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Velocidade do Vento para o período de modelagem (1/07/2018 a 30/06/2021), após a aplicação dos métodos RLS e RLM às séries históricas da estação Lagoa da Confusão.

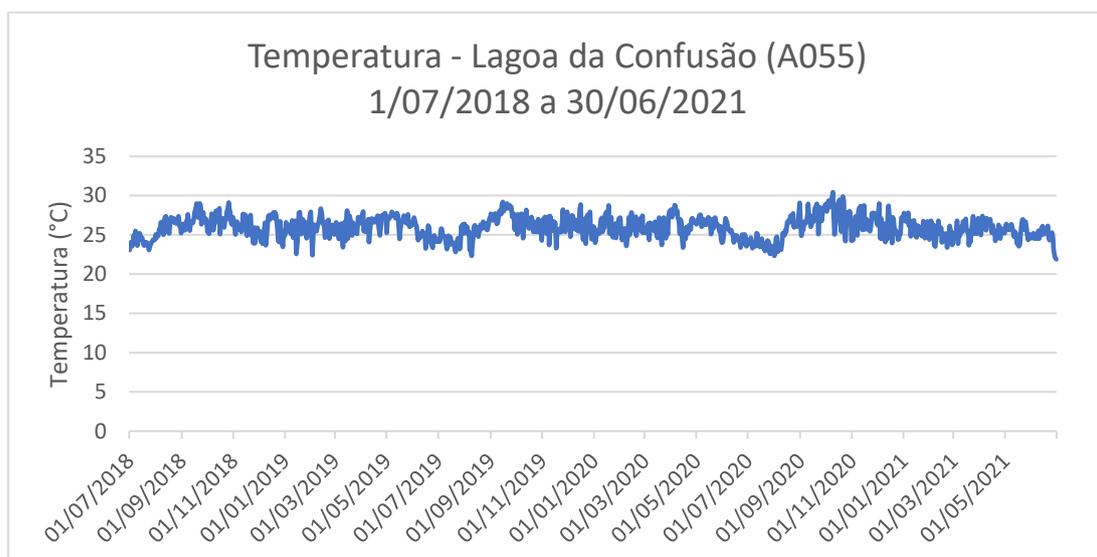


Figura 37 - Temperatura média diária para a estação Lagoa da Confusão (A055).

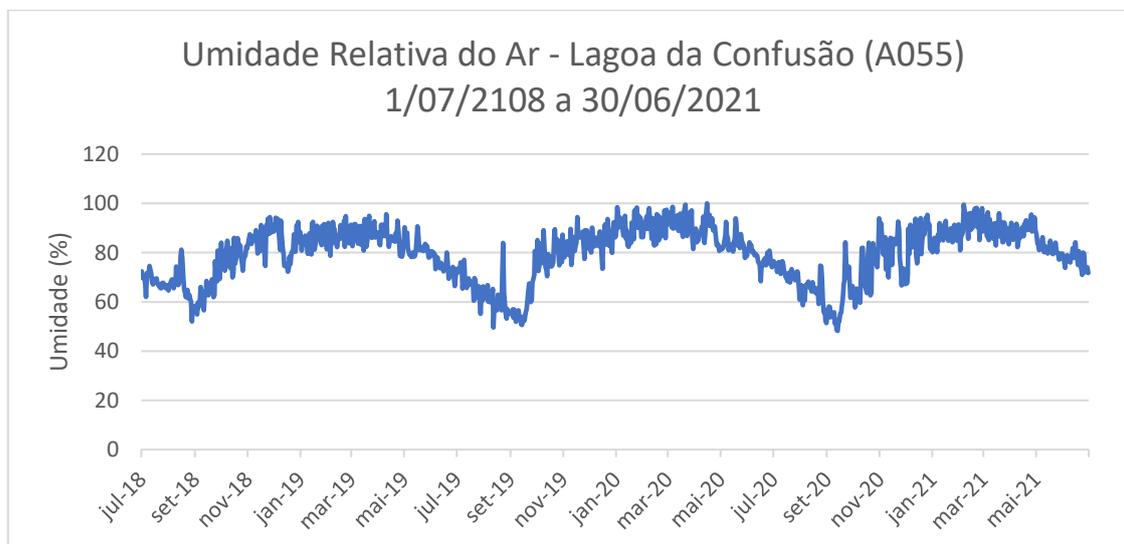


Figura 38 - Umidade Relativa do Ar média diária para a estação Lagoa da Confusão (A055).

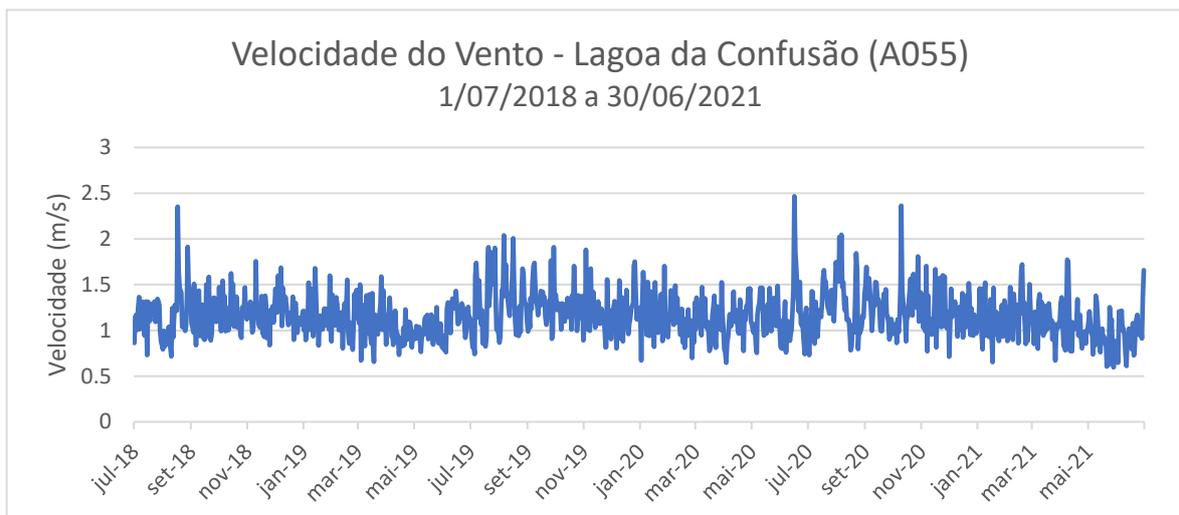


Figura 39 - Velocidade do vento média diária para a estação Lagoa da Confusão (A055).

4.2.1.3 Nebulosidade e Albedo

Devido à indisponibilidade de dados de nebulosidade nas estações indicadas na Tabela 6, utilizou-se os registros disponíveis na estação Palmas (A009). A nebulosidade registrada nas estações do INMET é feita em termos de escalas de nebulosidade, que variam de 0 a 10. O valor 0 indica que não há vestígios de nuvens no céu, ou seja, céu aberto, o valor 5 é atribuído quando o céu está parcialmente encoberto e o valor 10 em situações de céu totalmente encoberto por nuvens (Sant’anna Neto e Tommaselli, 2009).

No sistema WEAP, é necessário inserir dados à variável fração de nebulosidade, que varia de 0 a 1, de forma que valores próximos de zero se aproximam de um céu nublado, enquanto que valores próximos de 1 irão indicar um céu mais limpo, com ausência de nuvens. Para adaptar os dados do INMET às exigências do WEAP, adotou-se os seguintes passos:

- **Passo 1:** Calculou-se o valor decimal da série histórica de nebulosidade do obtida da estação Palmas. Por exemplo: considerando um valor de nebulosidade diária de 6 décimo, seu valor decimal será de 0,6. Desta forma, o valor 1 representará um céu totalmente encoberto por nuvens.
- **Passo 2:** Para ajustar a série histórica determinada no passo anterior à forma de medição de nebulosidade do WEAP, calculou-se, para cada valor decimal diário, o seu complemento. Por exemplo: se 0,6 representa um céu parcialmente encoberto, o seu complemento, $1 - 0,6 = 0,4$, representará no

WEAP essa nova classificação e o valor 1 indicará um céu totalmente limpo. Após isso, os dados foram inseridos no WEAP.

A série histórica de albedo (apresentada no Apêndice C) para a BHRF foi extraída do site NASA POWER (**P**rediction **O**f **W**orldwide **E**nergy **R**esources), que fornece um conjunto de dados solares e meteorológicos de pesquisa da NASA para suporte à energia renovável, construção de eficiência energética e necessidades agrícolas.

4.2.2 Demanda hídrica

Os dados de demanda hídrica inseridos no WEAP correspondem aos volumes de água diários (m³) captados pelas bombas hidráulicas (intervenções) que estão instaladas ao longo dos rios da BHRF. Foram identificadas, com dados para o período de modelagem, 111 bombas distribuídas entre os rios Formoso, Urubu, Dueré e Xavante. A geoespacialização destas intervenções, bem como as áreas de agricultura irrigada, são apresentadas na Figura 40.

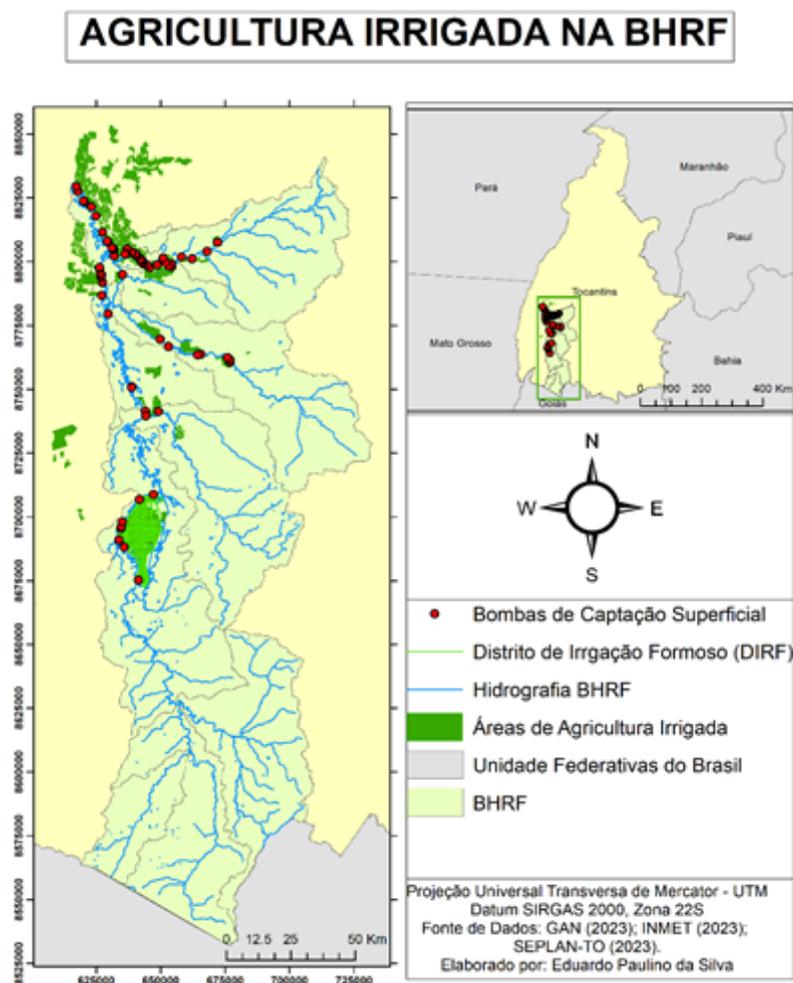


Figura 40 - Agricultura irrigada e bombas de captação d'água na BHRF.

Observa-se que a distribuição das bombas ao longo da BHRF não é homogênea. Ao norte da bacia, onde a área destinada à agricultura irrigada é maior, há uma elevada concentração de bombas, principalmente na foz dos rios Formoso e Urubu. À medida em que se percorre o rio Formoso em direção à montante, esta concentração reduz consideravelmente, havendo algumas intervenções nos rios Dueré e Xavante e no trecho médio do rio Formoso.

Os dados da operação das bombas foram adquiridos do aplicativo online do GAN, que armazena e disponibiliza séries históricas diárias sobre captações (vazões médias, volumes, período de funcionamento e valores de cobrança pelo uso da água), a partir do monitoramento das bombas em tempo real.

Na análise das séries históricas das bombas, foram identificados períodos com falhas e sem medições. Entretanto não foi aplicado nenhum procedimento de preenchimento de falhas, tendo em vista a possibilidade de superestimação da demanda hídrica. Os registros das bombas nos trechos críticos são apresentados no Apêndice B.

4.2.3 Disponibilidade Hídrica

Os dados de disponibilidade hídrica inseridos no WEAP se referem às séries históricas diárias de vazões monitoradas por estações fluviométricas/ telemétricas instaladas nos rios da BHRF. Para a modelagem, foram selecionadas 3 estações fluviométricas, localizadas em pontos estratégicos dentro da bacia. São elas: Projeto Formoso, Foz Rio Urubu e Foz Rio Formoso. A Tabela 14 apresenta informações sobre as estações selecionadas e a Figura 41 exibe a geoespacialização delas.

Tabela 13 - Estações fluviométricas selecionadas para a modelagem da BHRF no WEAP.

Estação Fluviométrica/ Telemétrica	Trecho Crítico	Código	Responsável	Latitude	Longitude
Projeto Rio Formoso	DIRF	26730000	ANA	-11,8392	-49,7711
Foz Rio Formoso	Foz do rio Formoso	26799000	SEMARH-TO	-10,5856	-49,9264
Foz Rio Urubu	Foz do rio Urubu	26798500	SEMARH-TO	-10,8278	-49,7956

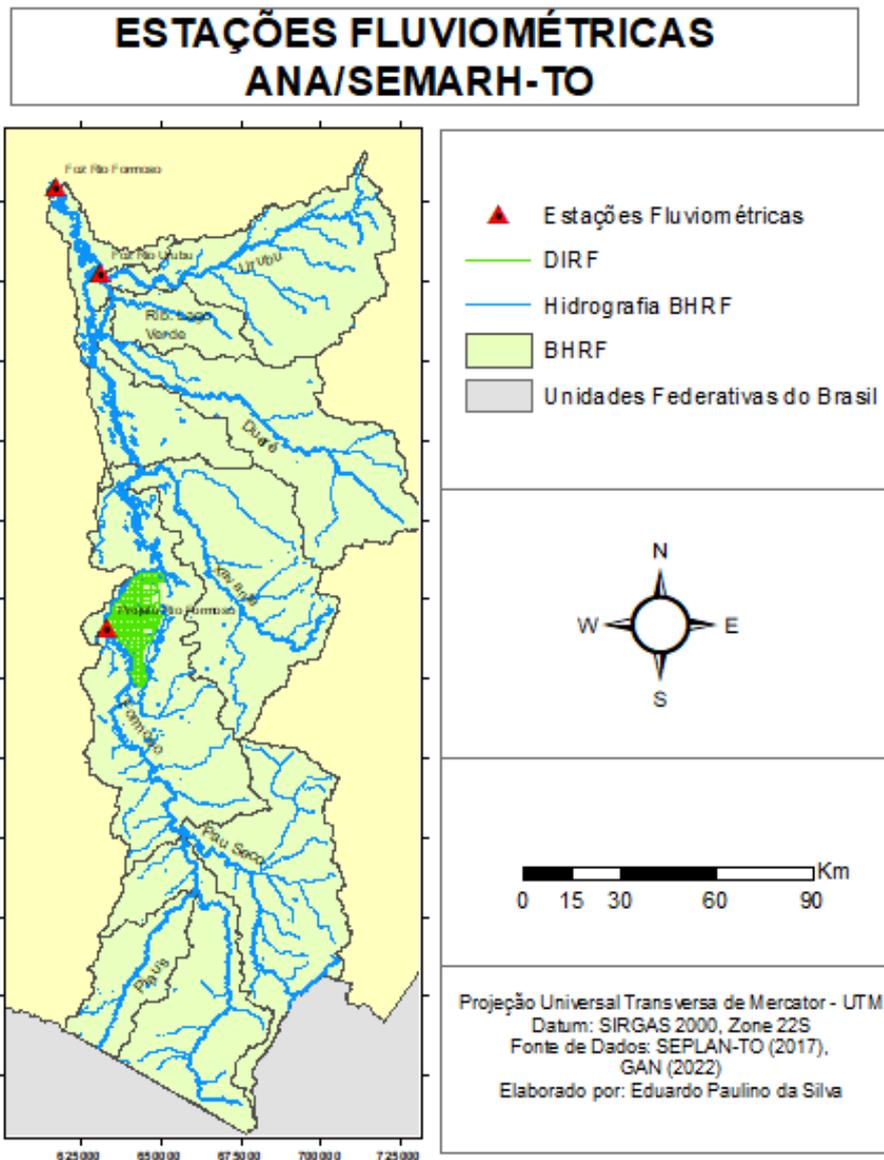


Figura 41 - Estações Fluviométricas selecionadas para a modelagem no WEAP.

As estações fluviométricas selecionadas atendem a pelo menos um de dois critérios: i) apresentam dados diários de vazão completos ou quase completos para o período de modelagem; ou ii) estão localizadas a jusante de trechos críticos, para posterior avaliação da disponibilidade hídrica frente às demandas da agricultura irrigada. De acordo com SEI (2017), são indetificados 4 trechos críticos de rios da BHRF quanto à vazão no período seco e número de bombas de captação:

- **Foz do rio Formoso:** formado pelo rio Formoso no trecho entre a foz do rio Urubu e a foz do próprio rio Formoso no rio Javaés, com 58 km de extensão, como mostra a Figura 42;

FOZ RIO FORMOSO - TRECHO CRÍTICO

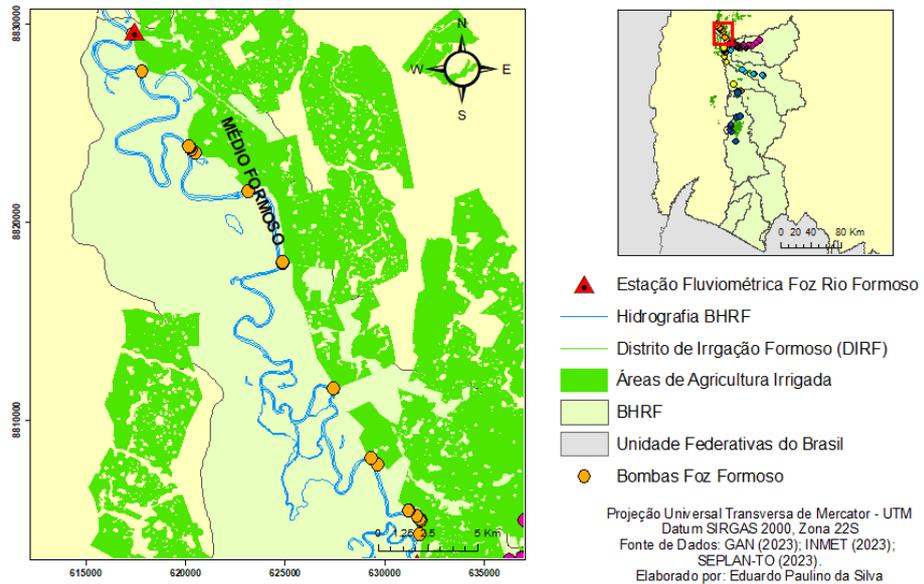


Figura 42 - Localização do trecho crítico Foz Rio Formoso e bombas de captação d'água.

- **Baixo rio Formoso:** compreende trecho do rio Formoso com 24,6 km de extensão a montante, a partir da foz do rio Urubu, como indica a Figura 43;

BAIXO FORMOSO - TRECHO CRÍTICO

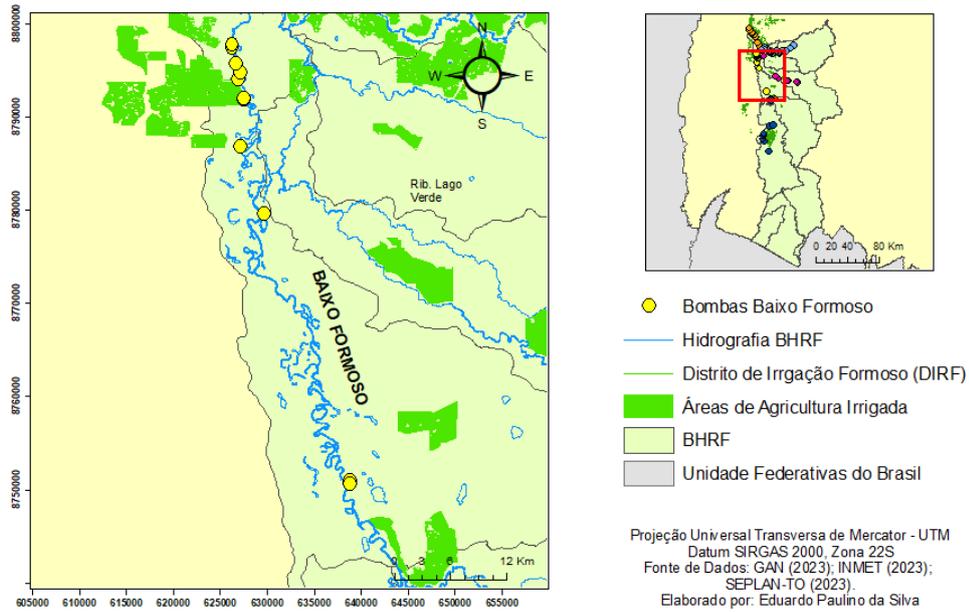


Figura 43 - Localização do trecho crítico Baixo Formoso e bombas de captação d'água.

- **DIRF (Distrito de Irrigação do rio Formoso):** grande perímetro irrigado que capta grandes volumes de água do rio Formoso, localizado no médio rio Formoso, trecho de 60 km. A Figura 44 apresenta a localização da região do DIRF.

DIRF - TRECHO CRÍTICO

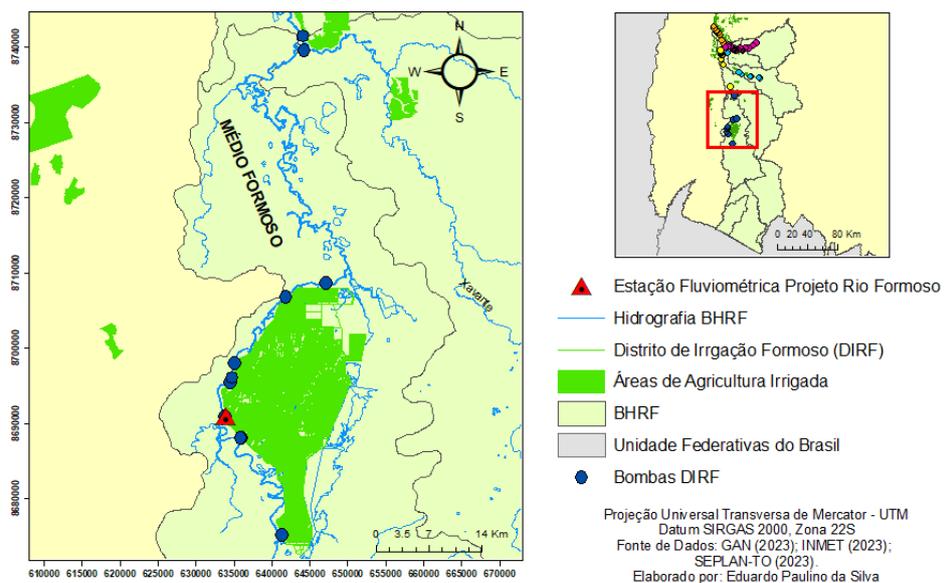


Figura 44 - Localização do trecho crítico DIRF, na altura do curso médio do rio Formoso, e bombas de captação d'água.

- **Foz do rio Urubu:** trecho a montante do rio de 25,5 km a partir de sua foz, concentra um grande número de captações. A Figura 45 apresenta a localização da foz do rio Urubu.

FOZ RIO URUBU - TRECHO CRÍTICO

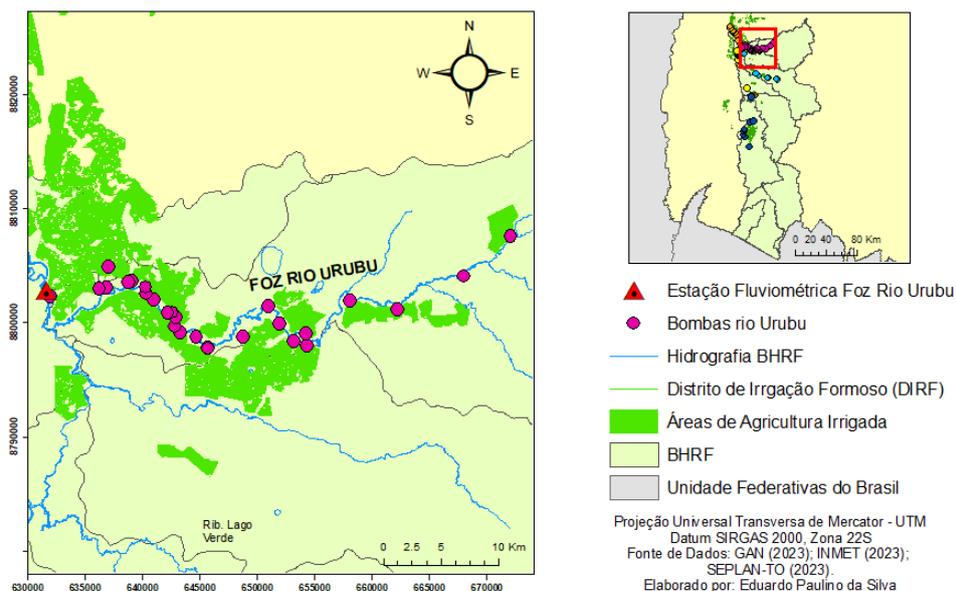


Figura 45 - Localização do trecho crítico Foz Rio Urubu e bombas de captação d'água

Dentre esses trechos críticos, somente no Baixo Formoso as estações fluviométricas não atendem a nenhum dos critérios de seleção supracitados. Em cada um dos trechos restantes, existe uma estação fluviométrica/telemétrica que obedece a pelo menos um deles. Ao longo de toda extensão do trecho crítico do DIRF, estão instaladas 14 bombas de captação d'água. A estação Projeto Rio Formoso (código: 26730000) se encontra a jusante de 8 bombas de captação e à montante de 6. Entretanto, apresenta uma série histórica com registros de vazão quase completa, como mostra o hidrograma representado na Figura 46.

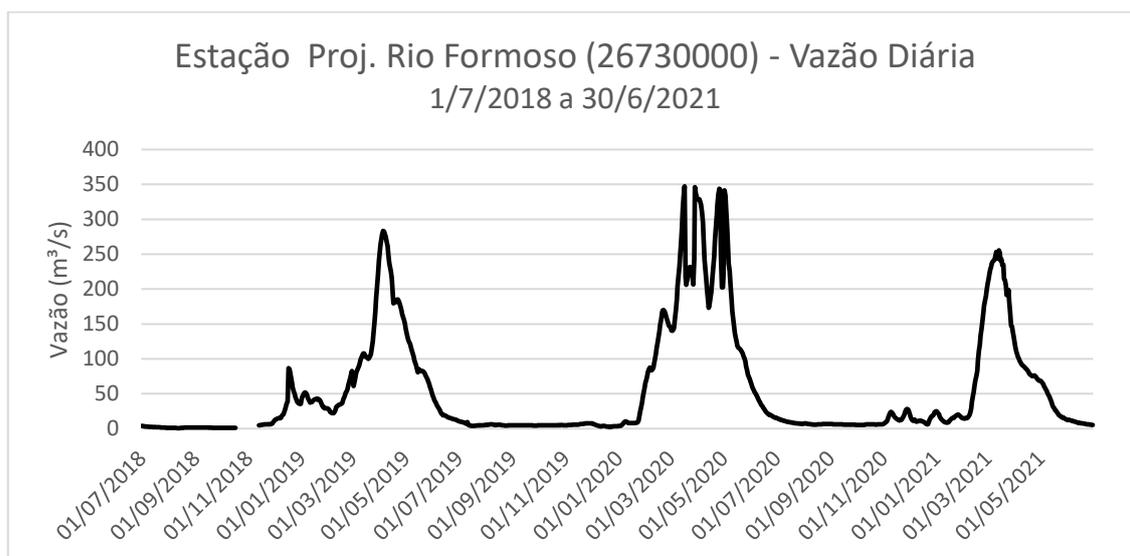


Figura 46 - Hidrograma de vazões diárias da estação fluviométrica Projeto Rio Formoso (26730000), de 1/7/2018 a 30/6/2021

O hidrograma da estação Projeto Rio Formoso apresenta somente 2,5% de falhas nos registros de vazão diária, o que corresponde a 27 dias sem dados. É possível observar um comportamento periódico das vazões, condizente com o regime de chuvas na região. No período seco da série histórica (maio a novembro), a vazão média é igual a 22 m³/s e o menor valor registrado é igual 0,5 m³/s. A partir do período chuvoso (dezembro a abril), a disponibilidade hídrica aumenta significativamente, a vazão média é igual a 99 m³/s e o pico de vazão atinge 347 m³/s em março de 2020.

As estações telemétricas Foz Rio Formoso (código: 26799000) e Foz Rio Urubu (código: 26798500), apesar de estarem localizadas a jusante dos trechos críticos dos seus respectivos rios, apresentam períodos com falhas nos registros de vazão. Os hidrogramas dessas estações, para o período de modelagem da BHRF no WEAP, são representados nas Figuras 47 e 48, respectivamente.

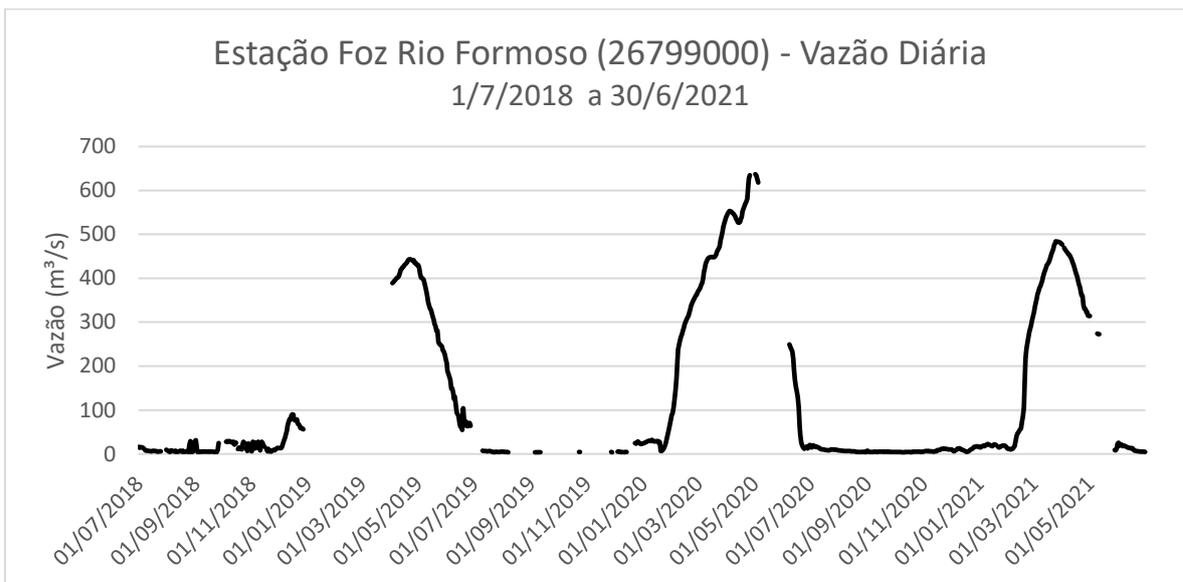


Figura 47 - Hidrograma de vazões diárias da estação Foz Rio Formoso (26799000), de 1/7/2018 a 30/6/2021.

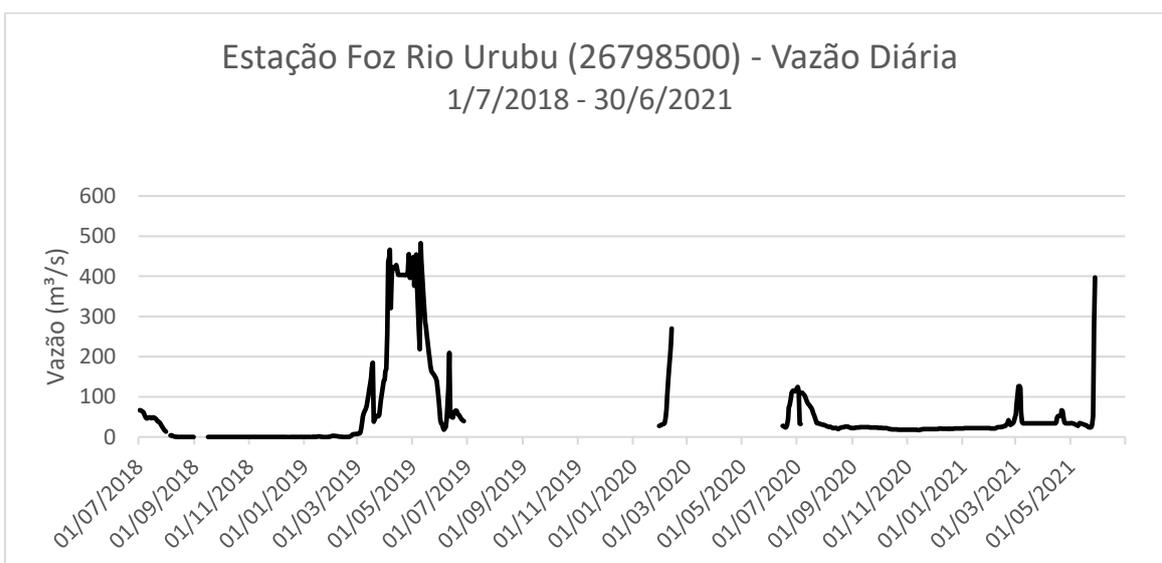


Figura 48 - Hidrograma de vazões diárias da estação Foz Rio Urubu (26798500), de 1/7/2018 a 31/6/2021.

Na Figura 47, o hidrograma da estação Foz Rio Formoso apresenta cerca de 28% de falhas nas medições de vazão diárias. Apesar disso, é possível notar uma periodicidade nos valores de vazão, semelhante ao observado na estação Projeto Rio Formoso. No período seco de toda a série histórica, a vazão média é igual a $49 \text{ m}^3/\text{s}$ e o menor valor registrado é $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Além disso, é neste período que ocorre o pico de vazão de $637 \text{ m}^3/\text{s}$, no início de maio de

2020. No período chuvoso, a vazão média é igual a 235 m³/s e o maior valor de vazão é igual 634 m³/s.

No hidrograma da estação Foz Rio Urubu, apresentado na Figura 48, existem grandes intervalos com falhas consecutivas nos registros de vazões diárias, o maior atingindo 7 meses ininterruptos, sendo difícil identificar uma periodicidade das vazões na seção de medição. Estes intervalos correspondem, no total, a aproximadamente 36% da série histórica. De acordo com Volken (2022), esta estação pode estar sujeita a interferências nos registros de vazão, tendo em vista que está localizada na foz do rio Urubu, em uma região de declividade plana, o que favorece o alagamento natural das áreas de várzea, devido aos efeitos de remanso provocados pelo rio Formoso.

Devido à indisponibilidade ou inconsistência de dados na série histórica das estações Foz Rio Formoso e Foz Rio Urubu, aplicou-se método de regionalização de vazões de forma a estimar seus dados faltantes a partir da estação Projeto Rio Formoso. Como visto, esta estação apresenta a menor parcela de falhas em seus dados, 2,5%. Para o preenchimento destas falhas, foi utilizado modelo de regressão linear. Todo esse processo é descrito em detalhes no sub-item 4.2.3.1.

4.2.3.1 Regionalização de Vazões

A regionalização das vazões diárias da estação Projeto Rio Formoso para as estações Foz Rio Formoso e Foz Rio Urubu (seções de interesse) foi realizada após o preenchimento de suas falhas, que se deu por meio da aplicação do modelo de Regressão Linear Múltipla. Conforme Wilks (2006), através do método dos mínimos quadrados, este modelo fornece a relação entre uma determinada variável dependente e outras variáveis independentes. A equação de regressão apresenta a seguinte forma:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + \dots + b_k \cdot X_k \quad (4.1)$$

Sendo,

- y: variável dependente (vazão a ser prevista)
- X_k: variáveis independentes (variáveis escolhidas que contribuem para a variação da vazão)
- b₀: intersecção da reta com o eixo das ordenadas
- b_n: coeficientes angulares obtidos da regressão

Como variáveis independentes, foram consideradas estações fluviométricas que apresentassem dados disponíveis para os dias com falhas e que estivessem próximas e na mesma calha fluvial da estação Projeto Rio Formoso. Desta forma, foram selecionadas as estações: Rio Formoso (código: 26798000), PraiaAlta (código: 26720000) e Dorilândia (código: 26721000). Desconsiderou-se a influência das bombas a montante das estações Rio Formoso e Projeto Rio Formoso. A Tabela 15 apresenta a equação de regressão múltipla obtida e suas respectivas estatísticas, onde X1

Tabela 14 - Equação de regressão múltipla e respectivas estatísticas obtidas para o preenchimento de falhas nos dados de vazão da estação Projeto Rio Formoso.

Equação	Estatísticas			
	R - Múltiplo	R ²	R ² - Ajustado	Erro Padrão
$Y = b_0 + b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3$				
$Y = 1,684 + 0,67.X_1 + 0,12.X_2 + 0,11.X_3$ *	0,97	0,94	0,94	18,63

*X1: Estação Rio Formoso; X2: Estação Praia Alta; X3: Estação Dorilândia

A equação de regressão obtida foi aplicada aos dias com falhas. Após isso, as deduções das bombas foram aplicadas novamente. A série histórica da Estação Projeto Rio Formoso apresenta indisponibilidade de dados, num período que vai de 18/10/2018 a 12/11/2018, além do dia 10//7/2019. O hidrograma resultante é apresentado na Figura 49, onde o trecho da curva em laranja representa as falhas preenchidas.

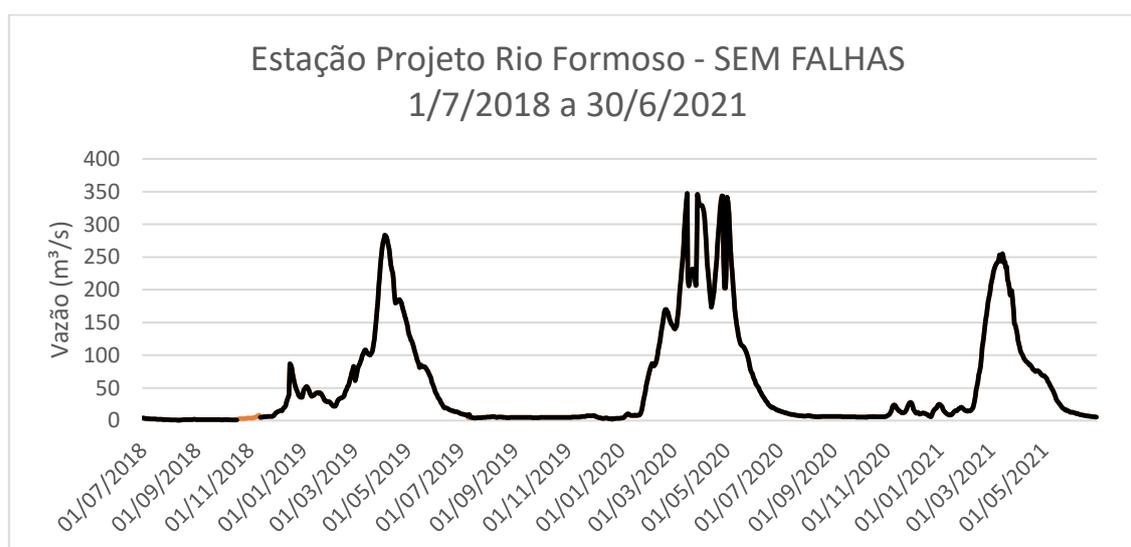


Figura 49 - Hidrograma resultante do preenchimento de falhas através do Método de Regressão Linear Múltipla aplicado à estação Projeto Rio Formoso.

Com a série histórica completa, a regionalização de vazões foi aplicada às falhas identificadas nos registros de dados das estações localizadas nas seções de interesse. Foi utilizado o método baseado na interpolação linear, que segundo Amorim et al. (2005), se fundamenta no princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida através de uma relação de proporcionalidade entre as vazões e as áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos, não sendo necessária a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, e portanto, são utilizadas as mesmas equações ao longo de toda a bacia hidrográfica.

O método é aplicado em 4 casos distintos, dependendo da localização da seção de interesse em relação às estações fluviométricas. Assim, quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto com vazão conhecida, a vazão de interesse é estimada pela equação 4.2 (Novaes et al., 2007). A Figura 50 representa os casos 1 e 2, onde x é o posto com dados disponíveis e y indica a seção de interesse.

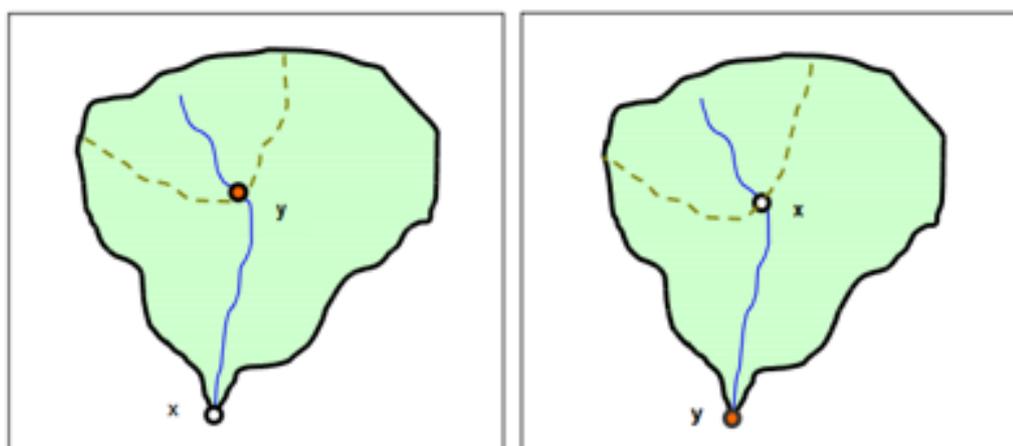


Figura 50 - Caso 1 (a): estimativa da vazão em um ponto y a montante de um posto x com vazão conhecida. Caso 2 (b): ponto de interesse y localizado a jusante de um posto com vazão conhecida Fonte: Chaves et al. (2002).

$$Q_z = \left(\frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}} \right) \times A_z \quad (4.2)$$

- Q_z : Vazão na seção de interesse, m^3/s
- $Q_{m,j}$: vazão no posto de montante ou de jusante, m^3/s
- $A_{m,j}$: área de drenagem do posto de montante ou de jusante, km^2
- A_z : área de drenagem na seção de interesse, km^2

Já quando a seção de interesse está situada num trecho de rio entre duas estações fluviométricas (caso 3), a vazão desconhecida é estimada pela equação 4.3 (Novaes et al., 2007). A Figura 51 apresenta o caso 3, onde o ponto z representa o ponto de interesse e os pontos x e y as estações fluviométricas.

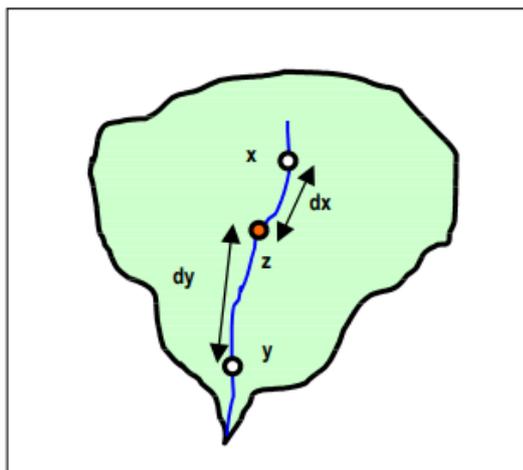


Figura 51 - Caso 3: Ponto de interesse z situado entre duas estações com vazão conhecida. Fonte: Chaves et al. (2002).

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) \times (Q_j - Q_m) \quad (4.3)$$

Onde,

- Q_m : vazão no posto de montante, m^3/s
- Q_j : vazão no posto de jusante, m^3/s .
- A_m : Área de drenagem do posto de montante, km^2 ; e
- A_j : área de drenagem do posto de jusante, km^2 .

A última situação (caso 4) ocorre quando o ponto de interesse se encontra em um afluente cuja a foz está entre dois postos fluviométricos localizados em um rio de ordem superior. Este caso é ilustrado na Figura 52, onde o ponto z' representa a seção de confluência, os pontos x e y são as estações fluviométricas e z é a seção de interesse.

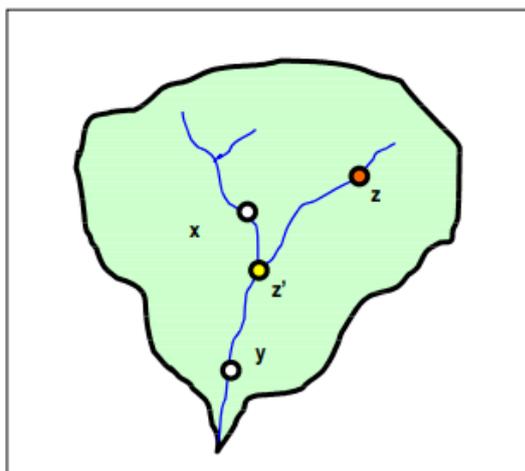


Figura 52 - Caso 4: Ponto de interesse z situado em um canal afluente, cuja foz z' está entre dois postos de vazão conhecida, x e y , localizados em um rio de ordem superior.
Fonte: Chaves et al. (2002).

Segundo Chaves et al. (2002), neste caso é aplicada uma combinação dos casos 1 e 2, que segue as seguintes etapas: i) aplica-se o caso 3 na seção de confluência (z'), entre os postos fluviométricos localizados no rio de ordem superior; e ii) calcula-se a vazão de interesse no ponto z , usando a vazão calculada anteriormente em z' , aplicando-se o procedimento do caso 1.

Na BHRF, a estação Projeto Rio Formoso é a estação base, a fonte dos dados de vazão a serem regionalizados para as seções de interesse, que são representadas pelas estações Foz Rio Formoso e Foz Rio Urubu. A Estação Foz Rio Formoso está a jusante da estação base, no rio Formoso, enquadrando-se no caso 2 do método de regionalização supracitado.

A estação Foz Rio Urubu enquadra-se no caso 4. Essa estação encontra-se no rio Urubu, cuja foz está no rio Formoso, entre as estações Projeto Rio Formoso e Foz Rio Formoso. Entretanto, devido à presença de falhas nessa última, optou-se pelo emprego dos casos 2 e 1 do método. Foram necessárias duas regionalizações: a primeira até o ponto de confluência dos rios (caso 2) e a segunda até a seção de interesse (caso 1).

A Figura 53 apresenta os limites das áreas de drenagem correspondentes à estação base, que é a estação Projeto Rio Formoso (C); ao ponto de confluência do rio Urubu com o rio Formoso (B); e às seções de interesse, representadas pelas estações Foz Rio Urubu (D) e Foz Rio Formoso (A). Na Tabela 16 são apresentadas suas respectivas características morfométricas.

ÁREA DE DRENAGEM - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

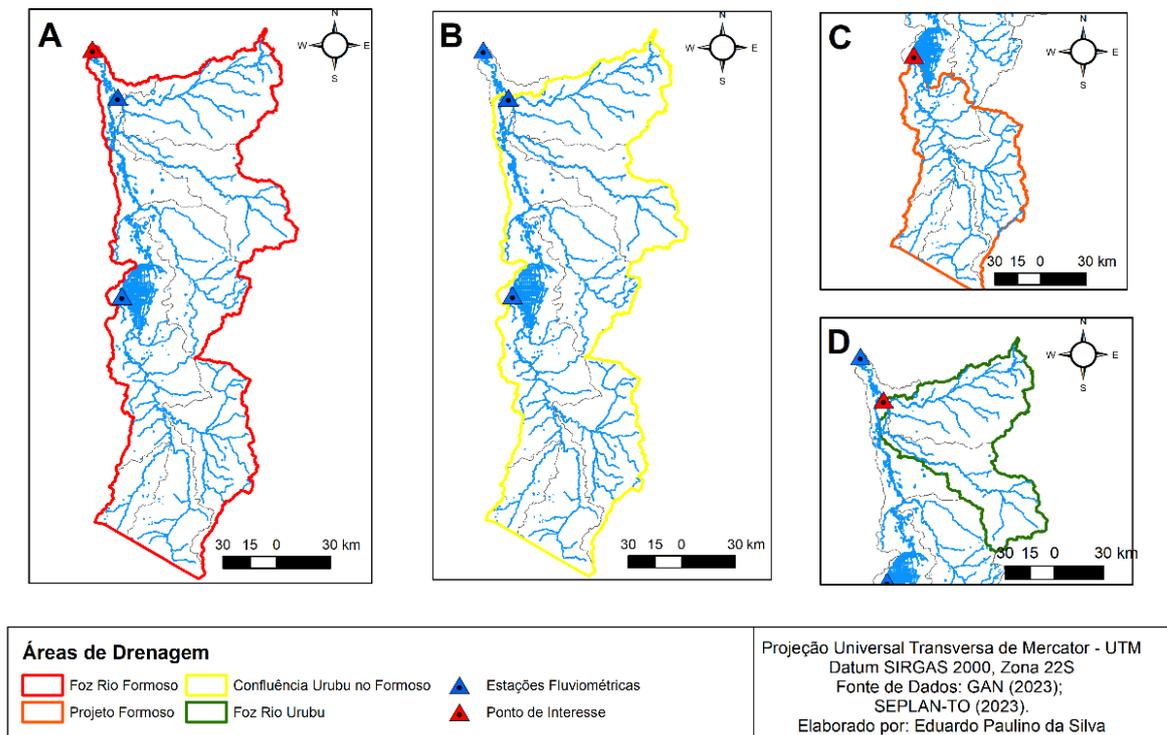


Figura 53 - Áreas de drenagem das seções de interesse e do ponto de confluência do rio Urubu com o rio Formoso.

Tabela 15 - Características morfométricas das áreas de drenagem correspondentes à estação Foz Rio Formoso (A), confluência do rio Formoso com o rio Urubu (B), estação Projeto Rio Formoso (C) e estação Foz Rio Urubu (D).

Características Morfométricas	A	B	C	D
Perímetro (km)	1119,93	1038,51	586,21	321,98
Área de Drenagem (km ²)	21310	20882,8	8906,8	2651,95
Comprimento do curso principal (km)	602,45	529,48	266,32	150,11
Comprimento total dos cursos d'água (km)	12075,54	11954,53	5795,49	1484,69
Comprimento axial da bacia (km)	295,18	265,68	198,04	87,03
Largura média da bacia (km)	72,19	78,60	44,97	30,47
Densidade de Drenagem (m/km ²)	0,57	0,57	0,65	0,56
Fator de Forma	0,24	0,29	0,23	0,35
Coefficiente de Compacidade	2,16	2,03	1,75	1,76
Índice de Circularidade	0,21	0,24	0,33	0,32

Observa-se na Tabela 16 que as áreas de drenagem apresentam características morfométricas semelhantes no que diz respeito aos valores de Densidade de Drenagem, Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade. De forma geral, as áreas de drenagem apresentam média densidade hidrográfica, com valores ligeiramente superiores a 0,5 m/km², indicando, devido à proximidade dos valores, características semelhantes relacionadas à geologia, topografia, solo e vegetação. Os valores de Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade e Índice de Circularidade mostram baixa suscetibilidade a enchentes (Villela e Matos, 1975; Lima, 1986).

Após a caracterização morfométrica, o método baseado na interpolação linear foi aplicado a cada uma das seções de interesse. Na estação Foz Rio Formoso, a equação 4.2 foi empregada aos dias sem dados, realizando-se um preenchimento de falhas na série histórica da estação. Foi desconsiderada a influência das bombas a montante da estação. Na Estação Foz Rio Urubu, devido à inconsistência dos dados medidos, realizou-se a regionalização das vazões a todos os dias da série histórica. Após a regionalização, as deduções das bombas foram aplicadas novamente. Os resultados para as seções de interesse correspondentes à Estação Foz Rio Formoso, confluência dos rios Formoso e Urubu e Estação Foz Rio Urubu são apresentados nas Figuras 54, 55 e 56.

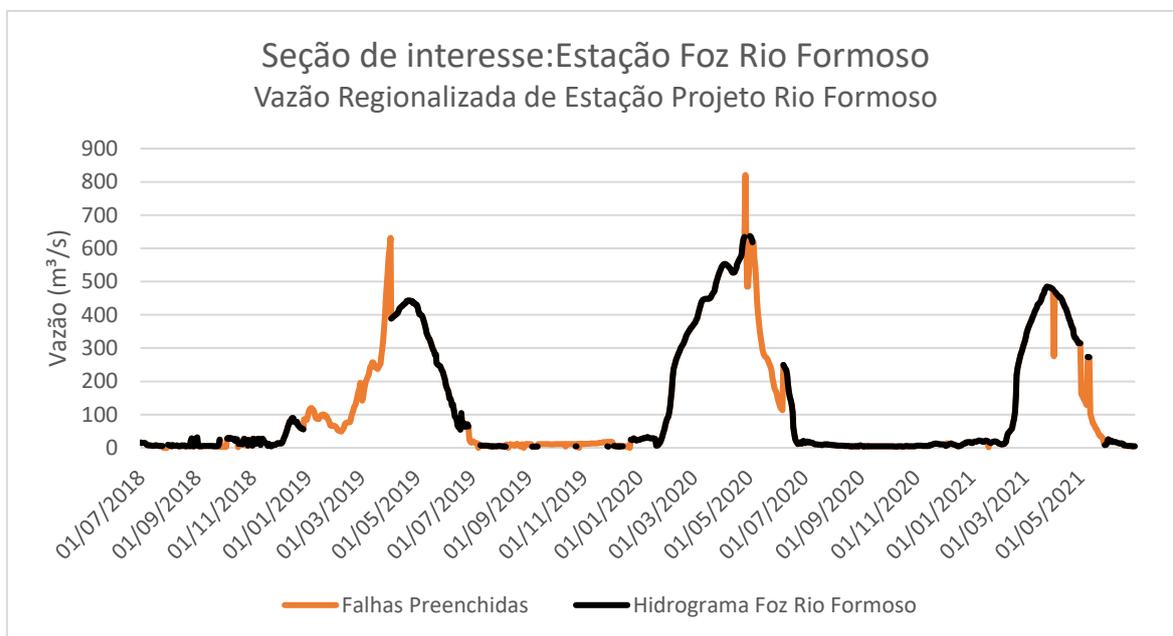


Figura 54 - Vazões diárias regionalizadas da estação Projeto Rio Formoso para a estação Foz Rio Formoso.

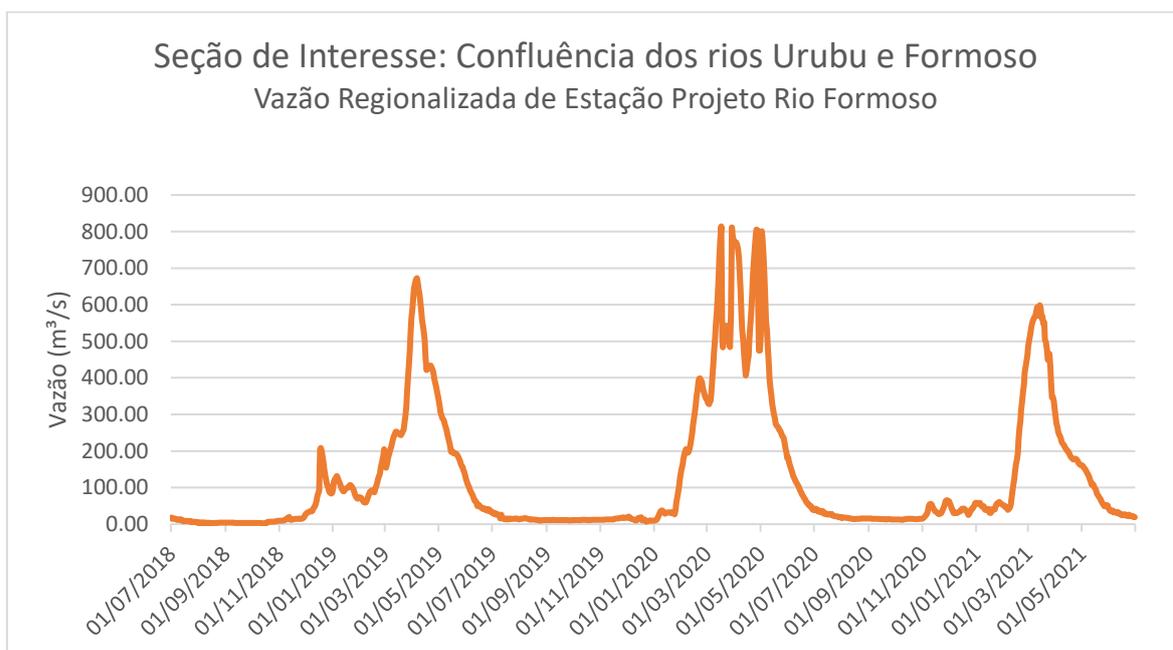


Figura 55 - Vazões diárias regionalizadas da estação Projeto Rio Formoso para a confluência dos rios Urubu e Formoso.

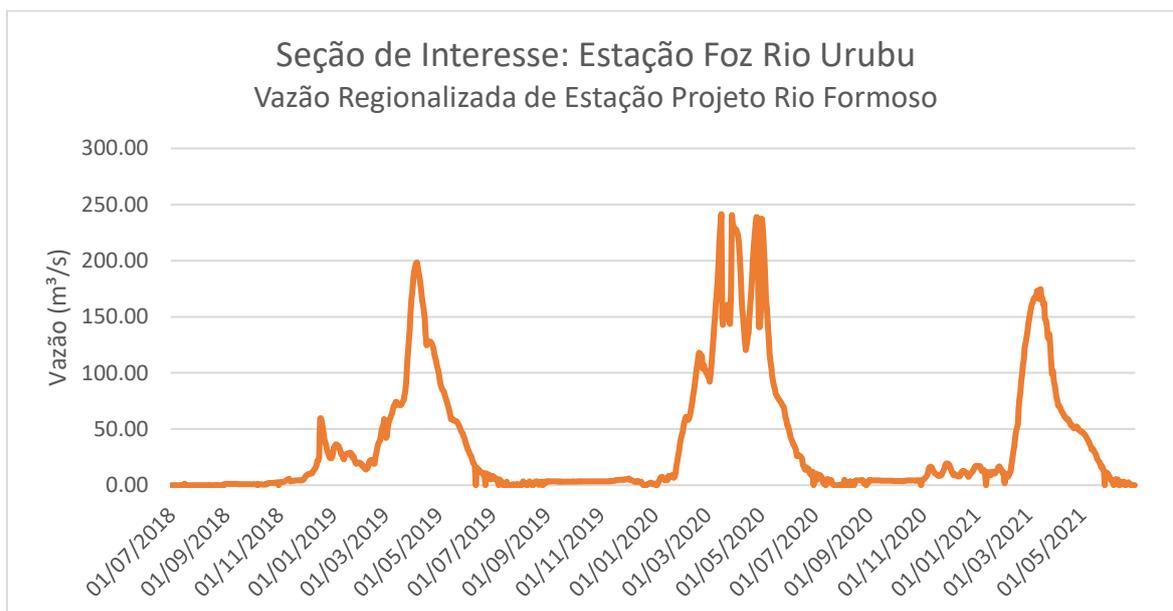


Figura 56 - Vazões diárias regionalizadas da estação Projeto Rio Formoso para a estação Foz Rio Urubu.

4.2.4 Classes de uso e cobertura do solo

Além das variáveis climáticas, o Método de Umidade do Solo dispõe de variáveis relacionadas ao uso da terra. Essas variáveis, que serão abordadas em detalhes no sub-item

4.3.2.1, são utilizadas no processos de calibração do modelo WEAP. Para atribuir valores a elas, foi necessário identificar os tipos de uso e cobertura do solo e calcular suas respectivas parcelas em relação à área total de cada sub-bacia da BHRF.

As informações de uso e cobertura do solo foram adquiridas da coleção 6 de mapas do projeto MapBiomias, que disponibiliza mapas de uso e cobertura do solo de todo o Brasil, para o período de 1985 a 2020. Essa foi a coleção mais atual disponível no website do projeto, até a data de realização desta etapa metodológica.

Com o auxílio da ferramenta ArcMap 10.7, utilizou-se um arquivo vetorial do recorte da BHRF para obter o mapa da área de estudo. Esse mapa, no formato raster, foi posteriormente convertido para formato vetorial. Em seguida, os tipos de uso e cobertura do solo desse mapa foram reclassificados. Os mapas do Mapbiomas obedecem ao sistema de classificação para cobertura e uso da terra, proposto por IBGE (2013). Nesse sistema, os diversos tipos de uso e cobertura do solo são classificados em níveis, onde o nível subsequente é mais detalhado que o anterior. São eles: Classes (Nível I), Sub-Classes (Nível II) e Unidades (Nível III). De forma a simplificar a representação no WEAP, as unidades presentes no mapa foram agrupadas em classes, como mostra a Tabela 17.

Tabela 16 - Classes, sub-classes e unidades de uso e cobertura do solo identificadas na BHRF.

Nível I - Classe	Nível II – Sub-classe	Nível III - Unidades
AGROPECUÁRIA	Agricultura	Lavoura Temporária - Arroz
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Mosaico de Agricultura e Pastagem
	Agricultura	Lavoura Temporária
	Pastagem	Pastagem
	Agricultura	Lavoura Temporária - Soja
	Silvicultura	-
ÁREA NÃO VEGETADA	Área Urbanizada	Área urbanizada
	Outras Áreas Não Vegetadas	Outras Áreas Não Vegetadas
CORPOS D'ÁGUA	Rio, Lago e Oceano	-
FLORESTA	Formação Florestal	Formação Florestal
	Formação Savânica	Formação Savânica
FORMAÇÃO NATURAL	Campo Alagado e Área Pantanosa	Campo Alagado e Área Pantanosa
NÃO FLORESTAL	Formação Campestre	Formação Campestre

Após a reclassificação, as parcelas de cada classe de uso e cobertura do solo foram calculadas para cada sub-bacia da BHRF e inseridas no WEAP. Esses valores são apresentados na Tabela 18, onde as letras de A a F representam, respectivamente: Agricultura Irrigada (A), Agropecuária (B), Área Não Vegetada (C), Corpos D'Água (D), Floresta (E) e Formação Natural Não Florestal (F). A classe Agricultura Irrigada abrangeu as áreas na BHRF correspondentes à produção de arroz (irrigação por inundação) e soja (subirrigação) mostradas na Figura 14.

Tabela 17 - Parcelas de área das classes de uso e cobertura do solo para cada sub-bacia da BHRF, inseridos no WEAP.

Sub-bacias	Classes de Uso e Cobertura do Solo (%)*						Total (km ²)
	A	B	C	D	E	F	
Alto	-	62,31	0,10	0,16	37,03	0,40	2359,76
Médio	5,37	36,78	0,45	2,32	43,39	11,69	3834,93
Baixo	9,61	12,17	0,59	1,59	62,65	13,39	1667,08
Urubu	2,50	29,92	0,24	0,29	63,77	3,28	2651,95
Dueré	2,30	38,23	0,13	0,10	56,17	3,07	2823,98
Ribeirão Lago Verde	5,21	18,61	0,14	0,09	60,56	15,39	717,27
Xavante	0,56	41,17	0,44	0,19	54,44	3,20	3001,14
Pau Seco	-	57,27	0,15	0,16	41,84	0,58	2685,21
Piaus	-	60,45	0,50	0,13	38,52	0,40	1073,76

*Uso e Cobertura do Solo: A – Agricultura Irrigada; B – Agropecuária; C – Área Não Vegetada; D – Corpos D'Água; E – Floresta; F – Formação Natural Não Florestal

4.3 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM NO WEAP

A modelagem da BHRF no WEAP foi realizada em 3 etapas. São elas: i) definição do estudo, que consistiu no estabelecimento do espaço de tempo e limites espaciais da bacia, bem como definição dos componentes do sistema e configurações gerais; ii) calibração do modelo, processo que envolveu a caracterização das variáveis de calibração, a análise de sensibilidade do modelo a essas variáveis e a determinação de medidas de desempenho do ajuste dos dados modelados aos dados observados; e iii) a construção de cenários alternativos de gestão dos recursos hídricos, baseados na aplicação da outorga coletiva aos proprietários das bombas de captação superficial nos trechos críticos dos rios da BHRF. Essas etapas são apresentadas nos sub-itens 4.4.1 a 4.4.3.

4.3.1 Definição do Estudo

A simulação hidrológica da BHRF foi realizada para o período que vai de 1 de julho de 2018 até o dia 30 de junho de 2021, considerando uma escala temporal diária. No ambiente SIG presente na Visualização Esquemática do WEAP, foi possível estabelecer os limites da área de estudo, através da inserção de uma camada vetorial da BHRF.

Na definição dos componentes do sistema, ainda na Visualização Esquemática, foram selecionados os seguintes componentes: Rio (River), Pontos de Demanda (*Demand Sites*), Bacias (*Catchment*), Escoamento/ Infiltração (*Runoff/Infiltration*), Ligações de Transmissão (*Transmission Link*), Fluxo de Retorno (*Return Flow*) e Estações Fluviométrica (*Stream Flow Gauge*). Estes elementos, representados por meio de nós e arcos, foram adicionados à camada vetorial da BHRF, no ambiente SIG, e são representados na Figura 57 com a indicação da quantidade de unidades utilizadas na legenda, em parênteses.

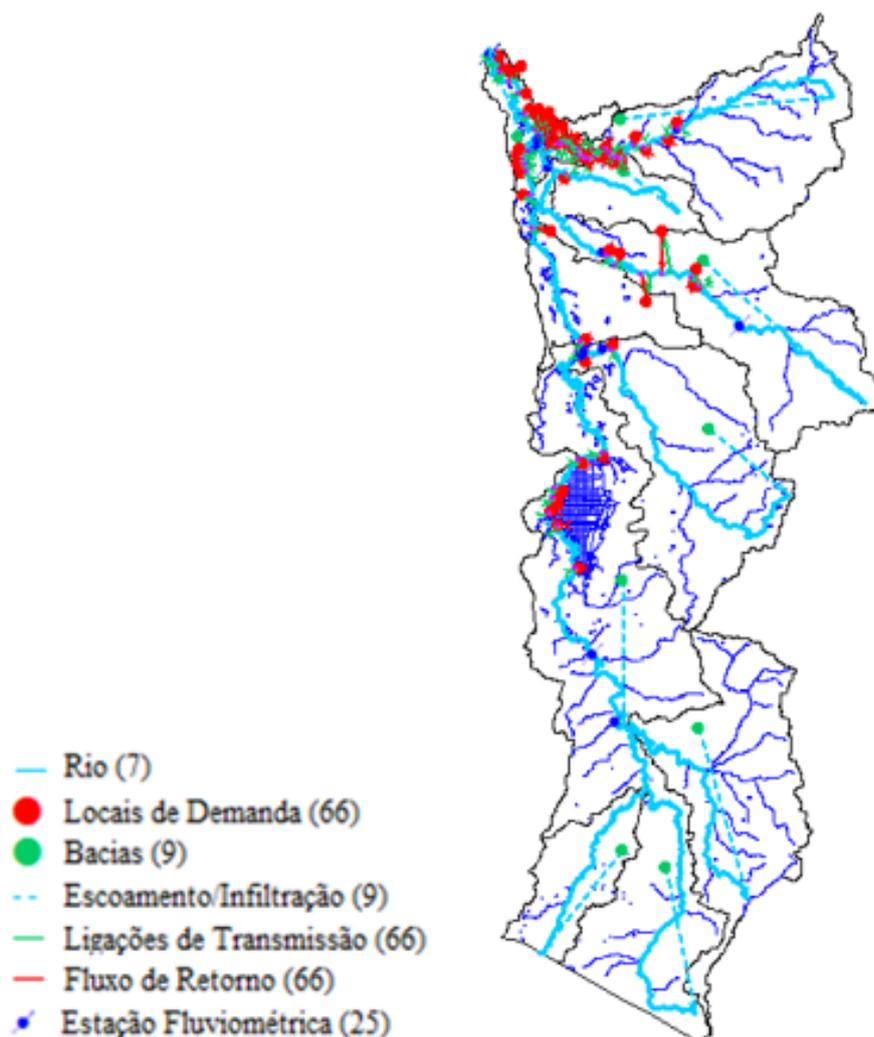


Figura 57 - Representação da BHRF no sistema WEAP com seus respectivos componentes (nós e arcos).

A BHRF foi dividida em 9 sub-bacias. Além de Pias, Pau Seco, Xavante, Dueré, Ribeirão Lago Verde e Urubu, a sub-bacia do Formoso foi dividida em 3: Baixo, Médio e Alto Formoso. Para cada uma delas definiu-se o nó “Bacias”, conectando-o à cabeceira do seu respectivo rio principal através do elemento “Escoamento/Infiltração”, de forma a determinar a vazão de cabeceira.

De acordo com SEI (2015), no WEAP, uma bacia hidrográfica é uma área definida pelo usuário dentro da visualização esquemática, onde é possível especificar processos como precipitação, evapotranspiração, acúmulo e derretimento de neve e gelo, escoamento superficial, irrigação e produtividade em terras agrícolas e não agrícolas. No sistema BHRF, esses processos foram especificados após a definição do Método de Umidade do Solo para cada uma das sub-bacias e posterior inserção dos dados climatológicos e de uso da terra apresentados nos sub-itens 4.3.3 e 4.3.4.

Os rios da BHRF foram representados no WEAP por meio de elementos do tipo “Rio”. Ao longo de seus cursos, as estações fluviométricas foram identificadas com o nó “Estação Fluviométrica”. A estes nós foram inseridos os dados de disponibilidade hídrica, referentes às vazões monitoradas, que foram apresentados no sub-item 4.2.3.

O nó “Local de Demanda”, como o nome diz, indica todos os locais de demanda no sistema. É definido como um conjunto de usuários de água que compartilham um sistema físico de distribuição, que estão todos dentro de uma região definida ou que compartilham um importante ponto de retirada para abastecimento (WEAP, 2015). No sistema BHRF, este tipo de nó representa um ponto físico no espaço, definido por um par de coordenadas geográficas, em que podem estar localizadas uma ou mais bombas de captação d’água pertencentes às propriedades de agricultura irrigada. Assim, os 66 nós representados na Figura 57 indicam a localização geográfica de 111 bombas de captação d’água.

Os dados de demanda hídrica apresentados no sub-item 4.2.2, referentes aos registros de captação diária das bombas, foram inseridos aos locais de demanda. Para representar os fluxos de entrada de água e contabilizar a dedução de vazão a jusante destes pontos, utilizou-se o elemento “Ligações de Transmissão”. Além da captação diária, o nó “Local de Demanda” exige que valores sejam atribuídos à variável denominada Consumo (*Consumption*), que se refere à parcela do fluxo de entrada (*Inflow*) do local de demanda que é perdida pelo sistema através de evaporação ou tratamento de água. Atribuiu-se o valor 90 a todos os nós. A partir disto, foi possível calcular o fluxo de retorno dos locais de demanda por meio da Equação 4.4:

$$\text{Return Flow} = \text{Inflow} * (1 - \text{Consumption}) \quad (4.4)$$

O Fluxo de Retorno especifica a fração do fluxo de saída do local de demanda ou a vazão de saída da estação de tratamento de águas residuais que é enviado para cada destino (WEAP, 2015). No sistema BHRF, os fluxos de retorno dos locais de demanda foram direcionadas para os rios principais das suas respectivas sub-bacias através do elemento “Fluxo de Retorno”.

4.3.2 Calibração do Modelo

Os registros históricos diários de vazão das estações fluviométricas Projeto Rio Formoso (2626730000), Foz Rio Urubu (26798500) e Foz Rio Formoso (26799000) serviram de parâmetro para a calibração do modelo WEAP para a BHRF, após o emprego dos métodos de Regressão Linear Múltipla e de Regionalização de Vazões para o preenchimento de suas falhas. Como visto, essas estações foram selecionadas por estarem localizadas nos trechos críticos dos rios da bacia, onde as vazões são muito baixas ao longo do período seco e há concentração de bombas de captação d’água para atender às demandas da agricultura irrigada.

O processo de calibração foi realizado manualmente através da modificação, a cada execução do modelo, das variáveis de solo do Método de Umidade do Solo. Para isso, foi necessário compreender de que forma cada variável pode influenciar nos resultados da modelagem, analisar a sensibilidade do modelo à modificação de cada uma delas e, por fim, calcular medidas de desempenho que avaliem a qualidade do ajuste dos dados simulados aos dados observados. Esses tópicos são abordados em detalhes a seguir.

4.3.2.1 Variáveis de Calibração

O Método de Umidade do Solo é baseado, em grande parte, na influência que variáveis de uso da terra desempenham sobre o comportamento da água nas camadas superficiais e profundas do solo. No desenvolvimento da modelagem, estas variáveis são utilizadas como parâmetros de ajuste no processo de calibração. Desta forma, os dados de entrada são alterados a cada simulação, até que se alcance um ajuste satisfatório do modelo aos dados observados.

As variáveis relacionadas ao uso da terra no Método de Umidade do Solo são: Coeficiente de Cultura – k_c , Capacidade de Água no Solo – CAS (mm), Capacidade de Água

Profunda – CAP (mm) , Fator de Resistência ao Escoamento - FRE, Condutividade da Zona Raíz – CZR (mm/dia), Condutividade Profunda – CZP , (mm/dia), Direção Preferencial de Fluxo - DPF e os valores Inicial Z1 e Z2. Estas variáveis são descritas a seguir, conforme SEI (2022):

- Capacidade de Água no Solo (*Soil Water Capacity*): Representa a capacidade efetiva de retenção de água na camada superior do solo (compartimento superior do diagrama conceitual do Método de Umidade do Solo).
- Capacidade de Água Profunda (*Deep Water Capacity*): é capacidade efetiva de retenção de água da camada profunda do solo (compartimento inferior do diagrama conceitual do Método de Umidade do Solo). Isso é dado como um valor único para a bacia hidrográfica e não varia por tipo de classe de terra.
- Fator de Resistência ao Escoamento (*Runoff Resistance Factor*): usado para controlar a resposta do escoamento superficial. Relacionado a fatores como índice de área foliar e declividade do terreno. O escoamento tende a diminuir com valores mais altos. Este parâmetro pode variar entre os tipos de classes de terrenos.
- Condutividade da Zona Raiz (*Root Zone Conductivity*): taxa de condutividade da zona raiz (compartimento superior) na saturação total (quando armazenamento relativo $z_1 = 1$), que será particionada, de acordo com a Direção Preferencial de Fluxo, entre interfluxo e fluxo para a camada inferior do solo ou águas subterrâneas. Esse valor pode variar entre os tipos de classes de terrenos.
- Condutividade Profunda (*Deep Conductivity*): taxa de condutividade (comprimento/tempo) da camada profunda na saturação total, que controla a transmissão do fluxo de base. Isso é dado como um valor único para a bacia hidrográfica e não varia por tipo de classe de terra. O fluxo de base aumentará à medida que esse parâmetro aumentar.
- Direção Preferencial de Fluxo (*Preferred Flow Direction*): Direção de fluxo preferencial: 1,0 = 100% horizontal, 0 = 100% de fluxo vertical. Usado para dividir o fluxo para fora da camada raiz (compartimento superior), entre o escoamento subsuperficial e o fluxo para a camada inferior do solo (compartimento inferior) ou águas subterrâneas. Esse valor pode variar entre os tipos de classes de terrenos.

- Z1 Inicial: valor inicial de z1 no início de uma simulação. Z1 é o armazenamento relativo dado como uma porcentagem do armazenamento efetivo total da capacidade de água da zona radicular.
- Z2 inicial: valor inicial de z2 no início de uma simulação. O Z2 é o armazenamento relativo dado como uma porcentagem do armazenamento efetivo total do compartimento inferior do solo.

As variáveis supracitadas irão influenciar nos resultados de vazão modelados conforme o Diagrama Conceitual do Método de Umidade do Solo, apresentado no sub-item 3.4, e na Equação 3.1, correspondente ao balanço de massas. As Tabela 19 e 20 apresentam o impacto das variáveis de solo nos compartimentos superficial e profundo, respectivamente.

Tabela 18 - Descrição do impacto no modelo WEAP das variáveis de solo do Método de Umidade do Solo no compartimento superficial. Fonte: SEI (2022).

Parâmetros de Uso do Solo	Valores Padrão no WEAP	Valores Possíveis	Impacto no Modelo
Coefficiente de Cultura	1	0 - ∞	Aumentos em kc levam a mais evapotranspiração - uma perda líquida de água do sistema de contabilidade do WEAP e perda de água que pode contribuir para a vazão dos rios.
Fator de Resistência ao Escoamento	2	0 - ∞	O aumento permite que menos água se torne escoamento superficial, uma vez que ela percola no solo imediatamente. Enquanto estiver no solo, mais evaporação é possível - permitindo uma maior perda de água do sistema de contabilidade do WEAP e perda de água que pode contribuir para o fluxo de água
Condutividade da Zona Raiz	20 mm/dia	0 - ∞	aumentar encurtará o tempo de viagem para qualquer água no balde superior (menos evaporação possível, menos perda de água do sistema)
Capacidade de Água no Solo	0,15	0 - ∞	Aumentar aumentará o tempo de viagem para qualquer água no balde superior (mais evaporação possível, mais perda de água do sistema)
Direção Preferencial de Fluxo	0 mm/dia	0-1	0 = toda a água que sai do balde superior flui para o balde inferior e nada para o rio 1 = toda a água que sai do balde superior flui para o rio e nada para o balde inferior

Tabela 19 - Descrição do impacto no modelo WEAP das variáveis de solo do Método de Umidade do Solo no compartimento profundo. Fonte: SEI (2022).

Parâmetros de Uso do Solo	Valores Padrão no WEAP	Valores Possíveis	Impacto no Modelo
Condutividade Profunda	1000 mm	0 - ∞	aumentar encurtará o tempo de viagem para qualquer água no balde inferior antes de fluir para o rio. não há evaporação no balde inferior
Capacidade de Água Profunda		0 - ∞	Valores elevados aumentam o tempo de viagem da água na camada profunda do solo, antes da chegada nos corpos d'água
Inicial Z1/ Inicial Z2	30%	0-100	As condições iniciais determinam a quantidade de água que já está disponível na camada superior/profunda do solo e afetam o que acontece com a nova água que atinge a camada. afeta drasticamente a resposta no primeiro ano, após o qual tende a se ajustar. A porcentagem de umidade do solo deve ser relativamente estável ao longo do tempo, exceto em circunstâncias muito extremas. O resultado da primeira execução é usado para definir o Z2 inicial

4.3.2.2 Índice de Sensibilidade

A análise de sensibilidade no WEAP foi realizada através da avaliação da influência dos parâmetros de solo na média da vazão diária modelada na seção correspondente à localização da estação Projeto Rio Formoso, na sub-bacia do Médio Formoso. Esta análise foi realizada manualmente e se baseou na determinação do Índice de Sensibilidade (IS), proposto por Nearing et al. (1990), a cada um dos parâmetros de solo, através da equação 4.5:

$$IS = \frac{\frac{R_1 - R_2}{R_{12}}}{\frac{E_1 - E_2}{E_{12}}} \quad (4.5)$$

Onde:

- R1: Resultado obtido com o modelo para o menor valor de entrada
 R2: Resultado obtido com o modelo para o maior valor de entrada
 R12: Média dos resultados obtidos com o menor e o maior valores de entrada
 E1: menor valor de entrada para um dado parâmetro
 E2: maior valor de entrada para um dado parâmetro
 E12: Média dos valores de entrada

O valor de IS representa a mudança normalizada gerada na saída do modelo para uma mudança normalizada na entrada dos dados. Quanto maiores os índices, mais sensível é o modelo ao parâmetro, enquanto valores próximos a zero indicam que o modelo não apresenta sensibilidade. O sinal de IS indica a relação entre o valor de entrada e o resultado, de modo que valores negativos indicam que o valor de entrada e o resultado são inversamente proporcionais, enquanto valores positivos indicam que estes são diretamente proporcionais (Silva et al., 2009).

Para o cálculo de IS, estabeleceu-se uma condição inicial caracterizada pela atribuição de valores padrões aos parâmetros de solo. Estes valores são indicados na própria ferramenta WEAP e apresentados na Tabela 21.

Tabela 20 - Valores padrões dos parâmetros de solo a partir dos quais se realizou a análise de sensibilidade do modelo da BHRF no WEAP.

Parâmetros de solo	Unidade	Valor Padrão
Capacidade de Água no Solo (CAS)	mm	1000
Capacidade de Água Profunda (CAP)	mm	1000
Fator de Resistência ao Escoamento (FRE)	-	2
Condutividade da Zona Raíz (CZR)	mm/dia	20
Condutividade Profunda (CP)	mm/dia	20
Direção Preferencial de Fluxo (DPF)	-	0,15
Inicial Z1	%	30
Inicial Z2	%	30

A partir da condição padrão, calculou-se faixas de valores de entrada para serem atribuídas aos parâmetros de solo com o objetivo de avaliar a perturbação que as alterações

destes provocam na média das vazões diárias. Estas faixas foram determinadas variando, de 10 em 10%, os valores padrões, tanto para mais quanto para menos, até que se alcançasse uma faixa de valores com um limite superior (maior valor de entrada, E1) e um limite inferior (menor valor de entrada, E2), que fossem, respectivamente, 90% maior e 90% menor do que o valor padrão.

Após a obtenção das faixas de valores de entrada, variou-se o parâmetro em análise a cada execução do modelo, mantendo os demais parâmetros com os valores padrões. Depois da aplicação desse processo, encontrou-se os valores de R1 e R2 para cada parâmetro e determinou-se o IS.

4.3.2.3 Medidas de Qualidade do Ajuste

A avaliação da qualidade da calibração nas estações fluviométricas selecionadas se deu a partir da determinação de 3 medidas estatísticas de desempenho: eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), Percent BIAS (PBIAS) e Coeficiente de Determinação (R²). Com os resultados obtidos por essas medidas, adotou-se critério de avaliação de desempenho de modelos desenvolvido Moriasi *et al.* (2015) para avaliar o modelo da BHRF no WEAP.

A estatística de desempenho PBIAS, expresso em porcentagem, mede a tendência média das simuladas serem superiores ou inferiores às suas contrapartes observadas. O valor ideal é 0, valores positivos indicam um viés do modelo para subestimação e valores negativos apontam um viés para superestimação (Gupta *et al.*, 1999; Moriasi *et al.*, 2007) A fórmula do PBIAS é dada pela Equação 4.6:

$$PBIAS (\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2 \times 100}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi})} \right) \quad (4.6)$$

Onde,

Q_{oi} : i-ésima vazão observada.

Q_{si} : I-ésima vazão simulada.

A eficiência de Nash – Sutcliffe (NSE) é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual (“ruído”) em comparação com dos dados medidos (“informação”) (Nash e Sutcliffe, 1970). Essa medida de desempenho varia de 0 a 1, onde o valor 1 é o ideal e o valor 0 indica que a vazão média observada é um preditor melhor do

que o modelo (Nash Sutcliffe, 1970; Gupta *et al.*, 1999;) O NSE é calculado conforme a Equação 4.7:

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \right) \quad (4.7)$$

No qual,

\bar{Q}_o : Média das vazões observadas

O Coeficiente de Determinação (R^2) irá informar a proporção da variância nos dados medidos que é explicada pelo modelo. Seu valor varia de 0 a 1, de modo que valores mais altos apontam para uma menor variância do erro e valores maiores que 0,5 são considerados aceitáveis. O cálculo de R^2 é dado pela Equação 4.8:

$$R^2 = \left(\frac{(\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times (Q_{si} - \bar{Q}_s))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2}} \right)^2 \quad (4.8)$$

Em que,

\bar{Q}_s : Média das vazões simuladas

O trabalho de Moriasi *et al.* (2015) consistiu no desenvolvimento de critério de avaliação de desempenho para medidas de desempenho estatístico recomendadas para modelos de escala de bacias hidrográficas (SWAT, HSPF e WARMF) e de campo (ADAPT). Os critérios estabelecidos para o NSE, o R^2 e o PBIAS foram utilizados na avaliação da qualidade do modelo da BHRF no WEAP e são apresentados na Tabela 22.

Tabela 21 - Critérios de avaliação de desempenho das estatísticas NSE, R^2 e PBIAS desenvolvidas por Moriasi et al. (2015) para modelos de escala de bacias hidrográficas e de campo.

Classificação de Desempenho	NSE	R^2	PBIAS
Muito Bom	$0,8 < NSE \leq 1,00$	$0,85 < R^2 \leq 1,00$	$PBIAS < \pm 5$
Bom	$0,7 < NSE \leq 0,8$	$0,75 < R^2 \leq 0,85$	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$
Satisfatório	$0,5 < NSE \leq 0,7$	$0,60 < R^2 \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$
Instatisfatório	$NSE \leq 0,5$	$R^2 < 0,60$	$PBIAS \geq \pm 15$

4.3.3 Construção de Cenários

Os cenários elaborados para serem simulados no WEAP, após a calibração do modelo, se basearam na aplicação das regras de rodízio às bombas de captação d'água, previstas no Plano do Biênio, e na avaliação dos resultados de vazão remanescente em relação aos valores de vazão ambiental a serem preservados, segundo os preceitos da outorga coletiva, de forma a simplificar a aplicação do instrumento de outorga na bacia.

As vazões ambientais foram determinadas a partir das vazões de referência Q90 e Q95. Conforme o Decreto do Estado do Tocantins nº2.342 de 2005, a vazão de referência a ser utilizada para a definição de outorgas de captações superficiais em rios do estado sem barramentos é a Q90. Esse decreto determina que o somatório das vazões a fio d'água a serem outorgadas não deve ultrapassar 75% da Q90.

Porém, segundo ANA (2013), regiões que apresentam sazonalidade nas vazões naturais devem considerar a utilização de vazões de referência que reflitam esta característica, possibilitando uma maior demanda nos meses mais úmidos e uma maior restrição nos meses mais secos. Assim, sempre que possível, o órgão adota a Q95 mensal.

Na BHRF, Vergara *et al.* (2013) expôs a comparação da vazão de referência Q90 mensal, bimestral e trimestral com a Q90 sazonal (período seco e chuvoso), feito pelo órgão ambiental do estado do Tocantins, considerando o ano hidrológico de outubro a setembro. Verificou-se que a Q90 mensal é mais apropriada por apresentar as características intrínsecas de cada mês, oferecendo mais segurança aos órgãos ambientais e dimensionando com maior exatidão a vazão disponível.

Assim, as vazões ambientais nos trechos críticos foram determinadas a partir das vazões de referência Q90 sazonal e Q95 mensal. Devido à indisponibilidade de dados referentes a Q90 mensal, desconsiderou-se essa vazão de referência. Como 75% da vazão de referência representa a vazão máxima a ser captada pelos usuários, a vazão ambiental foi determinada calculando-se o complemento desse valor, que corresponde a 25% da vazão de referência.

Dessa forma, as vazões remanescentes obtidas pela modelagem foram comparadas às vazões ambientais correspondentes a 25% da Q90 sazonal e 25% da Q95 mensal. A vazão de referência Q90 sazonal foi obtida de IAC (2017) e são apresentadas, com suas respectivas vazões ambientais (Q amb.), na Tabela 23. As vazões de referência Q95 mensal foram adquiridas do arquivo vetorial Disponibilidade Hídrica Superficial (BHO 2017 5K), extraído

do catálogo de metadados da ANA, e são apresentadas na Tabela 24 com suas respectivas vazões ambientais para o mês de julho.

Tabela 22 - Vazões de Referência Q90 sazonal e respectivas vazões ambientais determinadas para as regiões críticas da BHRF.

Regiões Críticas	Vazão de Referência – Q90 (m³/s)			
	Estação Seca		Estação Chuvosa	
	Q90	25%Q90	Q90	25%Q90
Foz Rio Urubu	1,25	0,311	28,63	7,16
Médio Rio Formoso	2,07	0,518	47,62	11,91
Baixo Rio Formoso	2,94	0,734	67,53	16,88
Foz Rio Formoso	4,22	1,055	97,02	24,26

Tabela 23 - Vazões de Referência Q95 mensal e respectivas vazões ambientais determinadas para as regiões críticas da BHRF.

Meses	Vazão de Referência – Q95 (m³/s)							
	Foz Formoso		Baixo Formoso		Médio Formoso		Urubu	
	Q95	Qamb.	Q95	Qamb.	Q95	Qamb.	Q95	Qamb.
Julho	21,7	5,4	12,9	3,2	7,3	1,8	3,6	0,9

Nos subitens 4.4.3.1 a 4.4.3.3, os cenários elaborados são descritos em detalhes. Além do Cenário de Referência, que retrata, através do modelo calibrado, as condições da BHRF tal como elas são para o período de modelagem, simulou-se os cenários alternativos de rodízio das bombas, propostas pelo Plano do Biênio, que são: o cenário A e o cenário B.

4.3.3.1 Cenário de Referência

O Cenário de Referência representa a definição básica do modelo da BHRF no sistema WEAP para o período de análise. Isto quer dizer que esse cenário reproduz com o máximo de precisão possível as condições reais da BHRF para o período de modelagem do estudo, de julho de 2018 a junho de 2021, considerando os dados de entrada disponíveis e a qualidade da calibração.

A partir do Cenário de Referência foi possível construir cenários filiados, que herdam suas características básicas, mas que produzirão resultados distintos de disponibilidade

hídrica conforme as suposições alternativas baseadas em diferentes regras de gestão dos recursos hídricos adotadas em cada um deles.

4.3.3.2 Cenário PB-A

O Cenário PB-A reproduziu as regras de operação das bombas, estabelecidas pelo Cenário A do Plano do Biênio 2018-2019, e avaliou os resultados sobre a vazão remanescente. Nesse cenário, as bombas de captação d'água são agrupadas em 3 grupos e submetidas a regime de revezamento de suas operações durante todo o mês de julho, período de irrigação da entressafra e baixa disponibilidade hídrica.

O Cenário PB-A representa uma das alternativas definidas pelo Plano do Biênio para serem implementadas durante a vigência das Regras Semafóricas, mais especificamente a Regra Amarela, que estabelece regime de revezamento das bombas de captação quando os rios atingem o nível de atenção, ou a partir do dia 1º de julho. Essa configuração dura até o início de agosto, quando se inicia a Regra Vermelha e todas as bombas são desligadas.

As bombas de captação da BHRF foram divididas em 3 grupos: Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3. Agruparam-se bombas de mesma vazão nominal, conforme mostrado em IAC (2018). Esses grupos são distinguidos por meio da Figura 58.

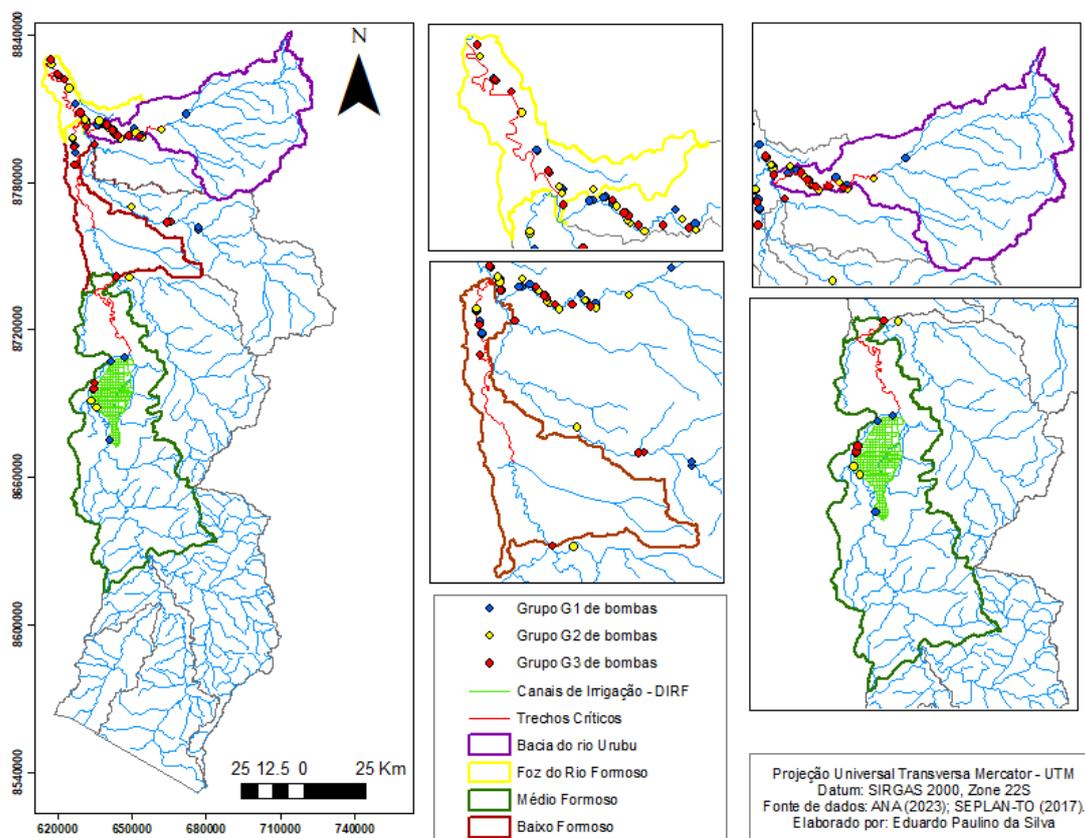


Figura 58 - Identificação das regiões críticas na BHRF e grupos de bombas (G1, G2 e G3) estabelecidos pelo Plano do Biênio 2018-2019.

Conforme IAC (2018), no Cenário A cada grupo de bombas opera por 40 horas para, em seguida, suspenderem suas captações para uma pausa de 8 horas. Ao longo de uma semana, cada grupo opera duas vezes, sendo 64 horas de captação e uma espera de 104 horas por semana. Na Tabela 25 é apresentado o ciclo do rodízio com a duração de operação de cada grupo e repouso

Tabela 24 - Cenário A – Ciclo do rodízio com a duração da operação de cada Grupo e Repouso

Série	Grupo 1	Repouso 1	Grupo 2	Repouso 2	Grupo 3	Repouso 3	Grupo 1
Duração (h)	40	8	40	8	40	8	40
Dia	1	2	3	4	5	6	7
Da Semana	Dom	Seg	Ter	Quar	Qui	Sex	Sáb

A plataforma online do GAN armazena, para cada uma das bombas da BHRF, dados diários de volume captado, vazão média e tempo de funcionamento das bombas. Supôs-se que as bombas de cada grupo, durante o seu turno, realizaram captações conforme o tempo de funcionamento registrado pelo aplicativo para cada uma delas. Os resultados de vazão remanescente nos trechos críticos foram comparados com as vazões ambientais mínimas correspondentes a 25% da Q90 sazonal e 25% da Q95 mensal.

4.3.3.3 Cenário PB-B

O Cenário PB-B teve como finalidade simular o Cenário B do Plano do Biênio durante a vigência da Regra Amarela e avaliar a vazão gerada na foz dos trechos críticos, comparando-a com as vazões ambientais mínimas definidas por meio das vazões de referência. Os grupos de bombas estabelecidos no Cenário PB-A se mantiveram e foram submetidos a uma nova regra de rodízio na semana.

Segundo IAC (2018), no Cenário B cada grupo opera por 48 horas sem repouso entre eles, havendo a suspensão de todas as captações no último dia da semana, para um repouso ininterrupto de 24 horas. Dessa forma, cada grupo opera apenas uma vez por semana, com 48 horas de captação e uma espera de 120 horas por semana. A Tabela 26 apresenta o ciclo de rodízio com a duração da operação de cada grupo e repouso para o Cenário B do Plano do Biênio.

Tabela 25 - Cenário B – Ciclo do rodízio com a duração da operação de cada Grupo e Repouso

Série	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Repouso
Duração	48	48	48	24
Dia	1-2	3-4	5-6	7
Da Semana	Dom-Seg	Ter-Qua	Qui-Sex	Sáb

Assim como no Cenário PB-A, considerou-se que as bombas, durante seus turnos, realizam captações conforme o tempo de funcionamento registrado pelo aplicativo do GAN. Os resultados de vazão remanescente foram comparados com as vazões ambientais estabelecidas.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os resultados do Índice de Sensibilidade (IS) para os parâmetros de solo do modelo WEAP são mostrados na Tabela 27. Esses índices foram obtidos variando os parâmetros de solo e observando os resultados de vazão modelados na estação fluviométrica Projeto Rio Formoso. Conforme a Equação 4.5, apresentada no sub-item 4.3.2.2, **E1** e **E2** representam, respectivamente, o menor e maior valor de entrada para um dado parâmetro; **E12** é a média desses valores de entrada; **R1** e **R2** são os resultados do modelo para o menor e maior valor de entrada, respectivamente; e **R12** indica a média de **R1** e **R2**.

Tabela 26 - Índices de Sensibilidade obtidos para os parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo frente aos resultados de vazão modelada na estação Projeto Rio Formoso

Estação Projeto Rio Formoso										
Parâmetros	Unidade	Padrão	E1	E2	E12	R1	R2	R12	IS	Classificação
CAS	mm	1000	100	1900	1000	159,9	92,4	126,2	-0,297	3
CAP	mm	1000	100	1900	1000	105,7	113,1	109,4	0,038	5
FRE	-	2	0,2	3,8	2	182,6	101,3	141,9	-0,318	2
CZR	mm/dia	20	2	38	20	42,3	147,2	94,8	0,615	1
CZP	mm/dia	20	2	38	20	95,8	107,2	101,5	0,063	4
DPF	-	0,15	0,015	0,285	0,15	108,1	108,1	108,1	0,000	8
Inicial Z1	%	30	3	57	30	108,0	108,4	108,2	0,002	7
Inicial Z2	%	30	3	57	30	105,7	108,8	107,3	0,016	6

Os valores de IS, indicados na Tabela 27, mostram que os resultados do modelo são fortemente influenciados pela Condutividade da Zona Raíz (CZR), seguido do Fator de Resistência ao Escoamento (FRE), Capacidade de Água no Solo (CAS), Capacidade de Água Profunda (CAP), Inicial Z1, Inicial Z2 e Direção Preferencial de Fluxo (DPF).

Como descreve Silva *et al.* (2013) quanto maior o valor de IS, mais sensível o modelo é ao parâmetro. Entretanto, o sinal do índice indica a relação entre o valor de entrada da variável e o resultado obtido, de maneira que valores negativos apontam para um relação inversamente proporcional, enquanto valores positivos indicam uma relação diretamente proporcional

O parâmetro CZR é o que mais interfere nos resultados da modelagem, com um IS de 0,615. Quanto maior o valor desse parâmetro, mais rápido a água presente na camada superficial do solo chegará ao rio, evitando perdas do sistema por evaporação. O CZR vai interferir tanto no escoamento subsuperficial como na percolação.

O FRE apresenta o segundo maior valor de IS e com um sinal negativo. O FRE controla a resposta do escoamento superficial e está relacionado a fatores tais como o índice de área foliar e declividade da terra. Atribuir valores elevados a este parâmetro implica na redução do escoamento superficial. Como consequência, mais água tende a infiltrar no solo ou ser perdida por meio da evaporação, reduzindo assim, a vazão que chega ao rio.

O CAS apresenta o terceiro maior valor de IS e, assim como o FRE, seu valor também é negativo. Este parâmetro está relacionado à capacidade de retenção efetiva de água na camada superficial do solo. Valores elevados de CAS tendem a reduzir a quantidade de água no sistema e, como consequência, diminuir os resultados de vazão simulados. Aumentar este parâmetro significa aumentar o tempo de viagem da água na camada superficial do solo, o que pode levar a um aumento da evaporação e, conseqüentemente, perda de água do sistema.

O restante dos parâmetros apresentaram valores de IS baixos quando comparados aos parâmetros supracitados. O CZP e o CAP vão influenciar no comportamento da água na camada profunda do solo, desempenhando papéis semelhantes aos desempenhados pelo CZR e CAD na camada superficial. Entretanto, para o caso do CZP, não há influência do DPF como há para o CZR, de modo que o fluxo de base gerará valores menores de vazão, aumentando ainda mais o tempo de viagem da água até o corpo d'água. Os parâmetros Inicial Z1 e Z2 representam as condições iniciais de armazenamento de água nas camadas superficial e profunda do solo, enquanto o DPF é utilizado para particionar o fluxo de saída da camada superficial entre o escoamento subsuperficial e a percolação.

A Figura 59 apresenta a sensibilidade da média das vazões diárias à variação dos parâmetros de solo. Esta variação foi aplicada conforme a faixa de valores de entrada obtida para cada parâmetro, a partir dos valores padrões estabelecidos na condição inicial da análise de sensibilidade.

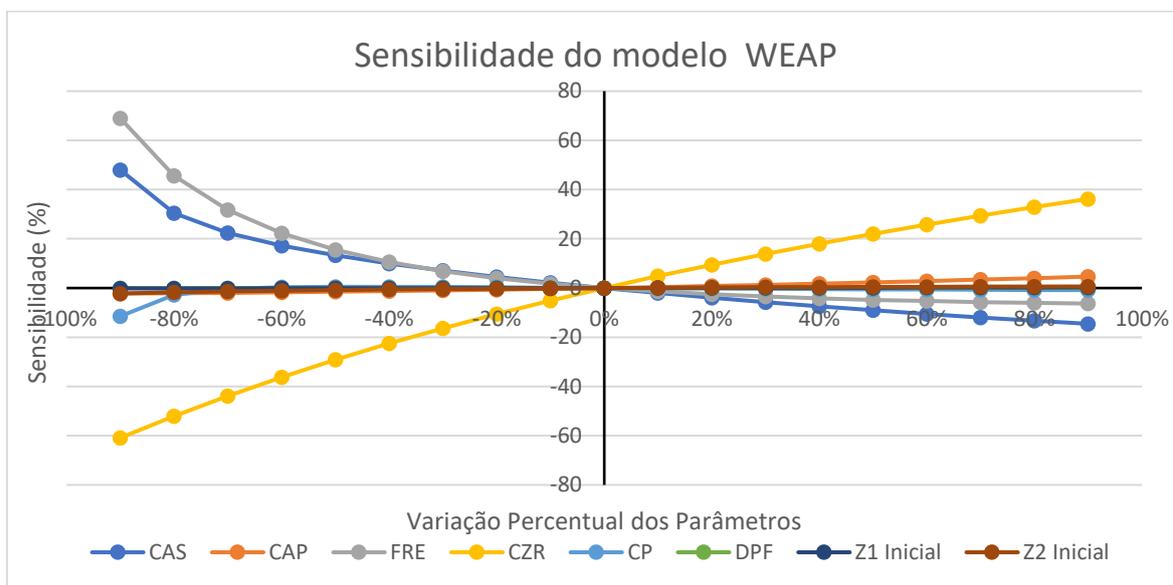


Figura 59 - Sensibilidade da média das vazões diárias à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo do WEAP.

Como esperado, pelo resultado dos IS, o modelo é mais sensível aos parâmetros CZR, FRE e CAS. Ao se analisar a curva do CZR, percebe-se que uma variação percentual de -90% promove uma redução de quase 61% na média das vazões diárias, enquanto que uma variação de +90% aumenta em 36% o valor do resultado.

A variação de -90% no valor do parâmetro FRE leva a uma redução de quase 69% nos resultados da modelagem, que é uma variação maior que a apresentada pelo parâmetro CZR.. Entretanto, o modelo apresenta uma sensibilidade menor ao FRE quando a variação do parâmetro é de +90%, havendo um aumento de apenas 6% nos resultados da modelagem.

O CAS apresenta um comportamento de curva semelhante ao apresentado pelo FRE, entretanto, com uma variação menor. Sua variação em -90% leva a uma redução de quase 48% nos resultados, enquanto que a variação de +90% aumenta em 14,5% a média das vazões diárias. No que se refere ao restante dos parâmetros, o modelo apresentou sensibilidade muito baixa ou praticamente nula. No restante dos parâmetros, os resultados do modelo apresentaram sensibilidade muito baixa ou praticamente nula.

Além da avaliação do comportamento dos resultados do modelo frente às variações dos parâmetros de solo, analisou-se a deformação provocada por estas variações às medidas de desempenho do modelo NSE, PBIAS e R², de forma a auxiliar no processo de calibração do modelo. Os resultados são apresentados nas Figuras 60, 61 e 62.

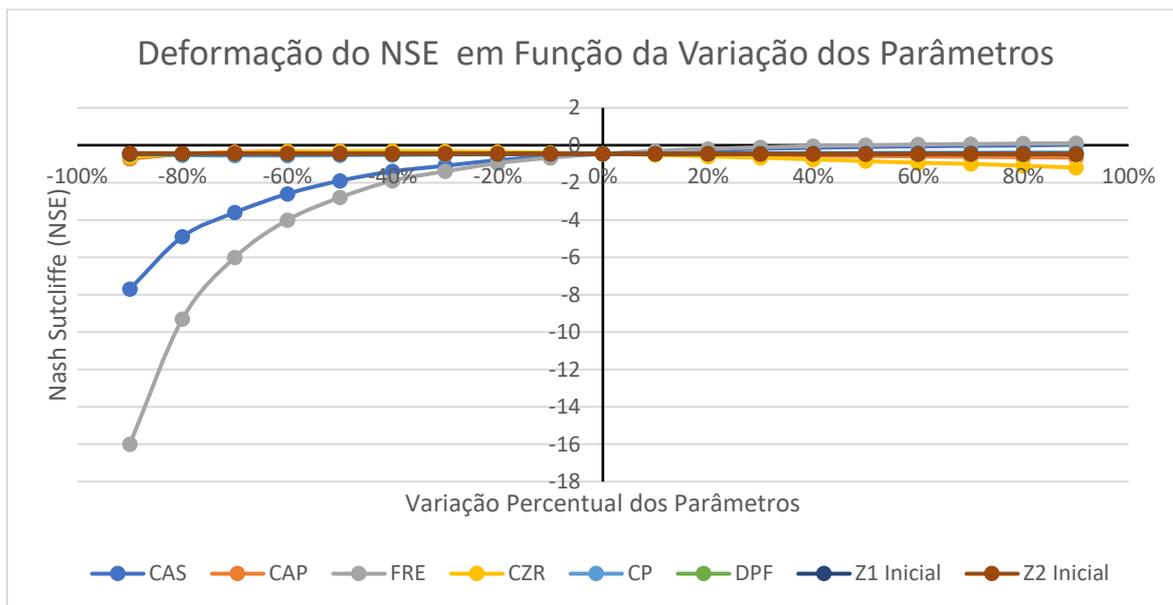


Figura 60 - Deformação do NSE à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo.

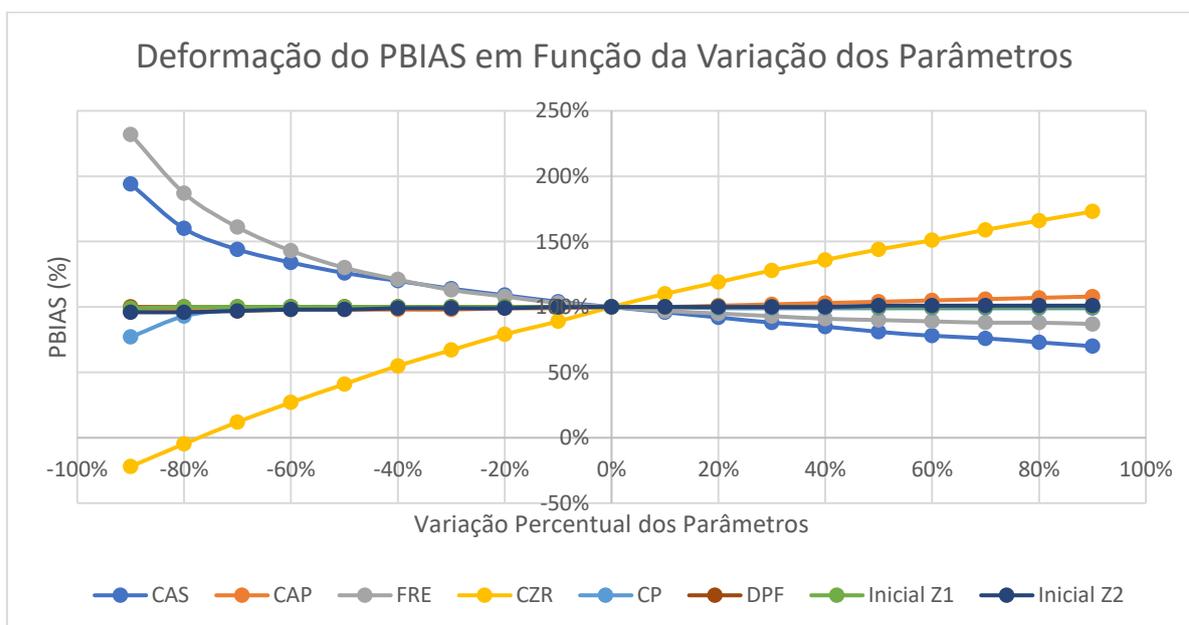


Figura 61 - Deformação do PBIAS à variação dos parâmetros de solo do Método de Umidade do Solo.

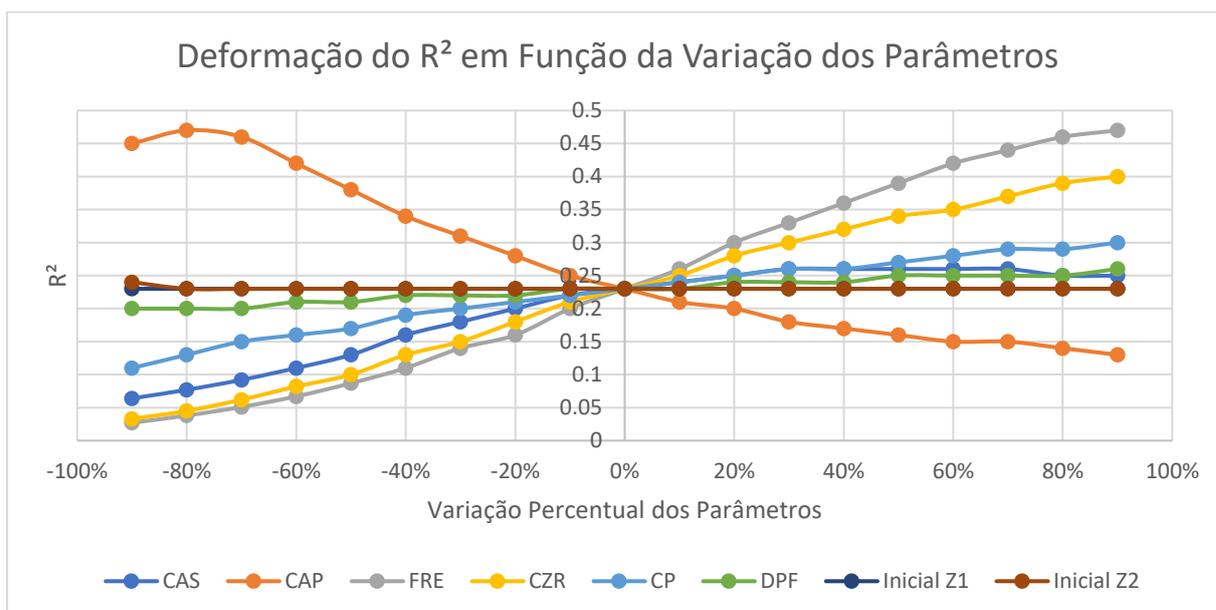


Figura 62 - Deformação do R² à variação dos parâmetros de solo do Método de Unidade do Solo.

Na condição inicial, onde foram considerados valores padrões aos parâmetros de solo, os valores das medidas de desempenho são: NSE = -0,46, PBIAS = 100% e R² = 0,23. Observa-se na Figura 60 que as maiores deformações provocadas ao NSE ocorrem quando reduções percentuais são aplicadas aos valores padrões dos parâmetros CAS e FRE. Os demais parâmetros pouco influenciam na alteração do NSE, incluindo o CZR, parâmetro com maior valor de IS.

No gráfico de deformação do PBIAS, indicado na Figura 61, o comportamento das curvas dos parâmetros é semelhante ao representado no gráfico de sensibilidade do modelo, na Figura 59. Assim, a classificação dos parâmetros, quanto ao que mais interfere na deformação dessa medida de desempenho, é a mesma referente à do IS.

Na Figura 62, os parâmetros FRE, CZR e CAP são os que mais influenciam na deformação do R². O parâmetro CAP, apesar de influenciar bastante nos valores do R², pouco interfere nos resultados do modelo, já que apresenta um IS muito baixo, de 0,038, além de também não provocar muitas alterações nos valores do NSE e do PBIAS.

5.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo WEAP para BHRF foi realizada considerando como parâmetro as séries históricas diárias de vazão das estações Foz Rio Urubu, Projeto Rio

Formoso e Foz Rio Formoso, submetidas a preenchimento de falhas por meio da aplicação dos métodos de Regressão Linear Múltipla e Regionalização de Vazões.

A calibração se deu de montante para jusante pois os valores obtidos com as estatísticas de desempenho nas seções mais próximas do exutório são influenciados pelos ajustes realizados nas seções mais distantes. Assim, realizou-se a calibração primeiramente na estação Projeto Rio Formoso, posteriormente na estação Foz Rio Urubu e, por último, na estação Foz Rio Formoso. A Figura 63 apresenta o hidrograma da vazão modelada (vermelho) e da vazão observada (preto) para a estação Projeto Rio Formoso e a Tabela 28, os respectivos valores de NSE, PBIAS e R^2 .

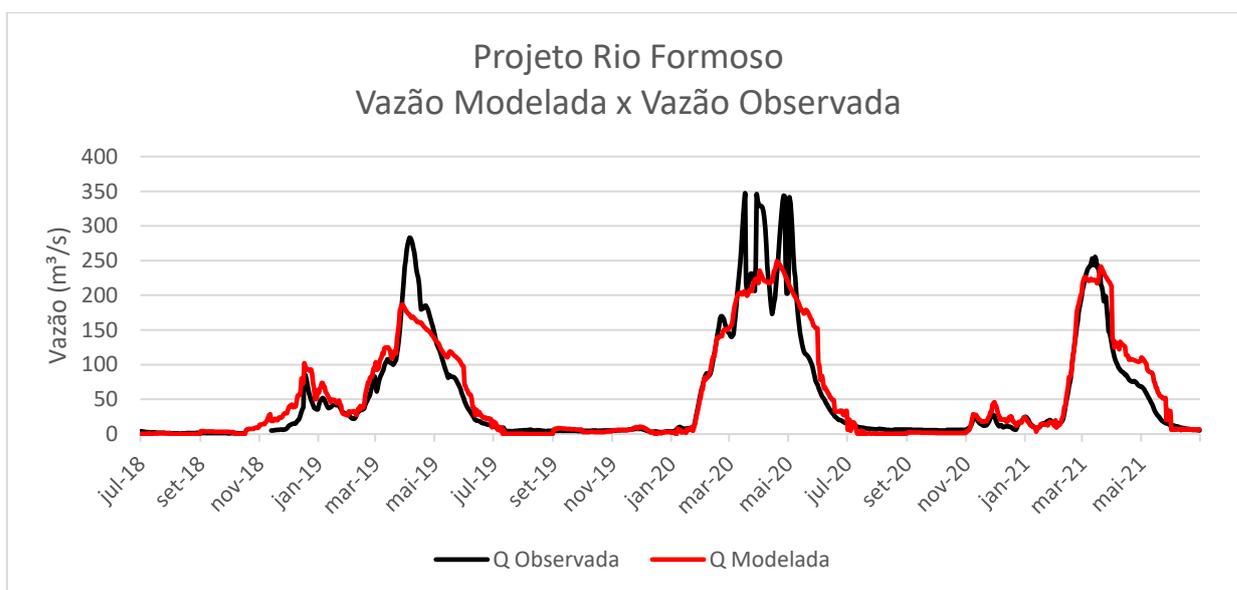


Figura 63 - Hidrograma das vazões observada e modelada para a estação Projeto Rio Formoso, considerando o período de 1/7/2018 a 30/6/2021.

Tabela 27 - Resultado das estatísticas de desempenho e respectivas classificações conforme Moriasi et al. (2015), para a calibração do modelo da BHRF na estação Projeto Rio Formoso.

Estatística de Desempenho	Projeto Rio Formoso	Classificação de Desempenho Moriasi et al. (2015)	
NSE	0,89	$0,8 < NSE \leq 1,00$	Muito Bom
PBIAS (%)	2,7	$PBIAS < \pm 5$	Muito Bom
R^2	0,89	$0,85 < R^2 \leq 1,00$	Muito Bom

A calibração apresentou valor de $NSE = 0,89$, $PBIAS = 2,7\%$ e $R^2 = 0,89$. Como mostra a Tabela 28, as três estatísticas de desempenho se classificaram como muito boas, o que indica que o modelo representa muito bem os dados observados na Estação Projeto Rio

Formoso. O ajuste das vazões modeladas nessa estação foi executado modificando os parâmetros de solo das sub-bacias localizadas à montante que são: Piaus, Pau Seco, Alto Formoso e Médio Formoso. A Tabela 29 apresenta os valores finais dos parâmetros de solo para essas sub-bacias, após o processo de calibração na estação Projeto Rio Formoso.

Tabela 28 - Valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Piaus, Pau Seco, Alto Formoso e Médio Formoso após a calibração do modelo.

VARIÁVEIS	SUB-BACIAS				
	Unidade	Piaus	Pau Seco	Alto Formoso	Médio Formoso
CAS	mm	5500	5500	5500	7500
CAP	mm	9000	9000	9000	7000
FRE					
Agropecuária	-	20	20	20	20
Área Não Vegetada	-	10	10	10	10
Agricultura Irrigada	-	-	-	-	30
Corpos d'Água	-	10	10	10	10
Floresta	-	20	20	20	20
Formação Natural Não Florestal	-	20	20	20	20
CZR	mm/dia	105	105	100	10
CP	mm/dia	3	3	3	2
DPF					
Janeiro	-	0,9	0,9	0,9	0,9
Fevereiro	-	1	1	1	1
Março	-	1	1	1	1
Abril	-	1	1	1	1
Maio	-	0,85	0,85	0,85	0,85
Junho	-	0,7	0,7	0,7	0,7
Julho	-	0,3	0,3	0,3	0,3
Agosto	-	0	0	0	0
Setembro	-	0,2	0,2	0,2	0,2
Outubro	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Novembro	-	0,4	0,4	0,4	0,4
Dezembro	-	0,7	0,7	0,7	0,7
Inicial Z1	%	0	0	0	0,1
Inicial Z2	%	0	0	0	0

Após a calibração dos resultados na estação Projeto Rio Formoso, realizou-se o ajuste na estação Foz Rio Urubu, que se deu por meio da modificação dos parâmetros de solo das sub-bacias à montante Dueré, Ribeirão Lago Verde e Urubu. A Figura 64 apresenta o hidrograma das vazões observada e modelada para essa estação. Na Tabela 30 são exibidos os respectivos valores obtidos com as estatísticas de desempenho.

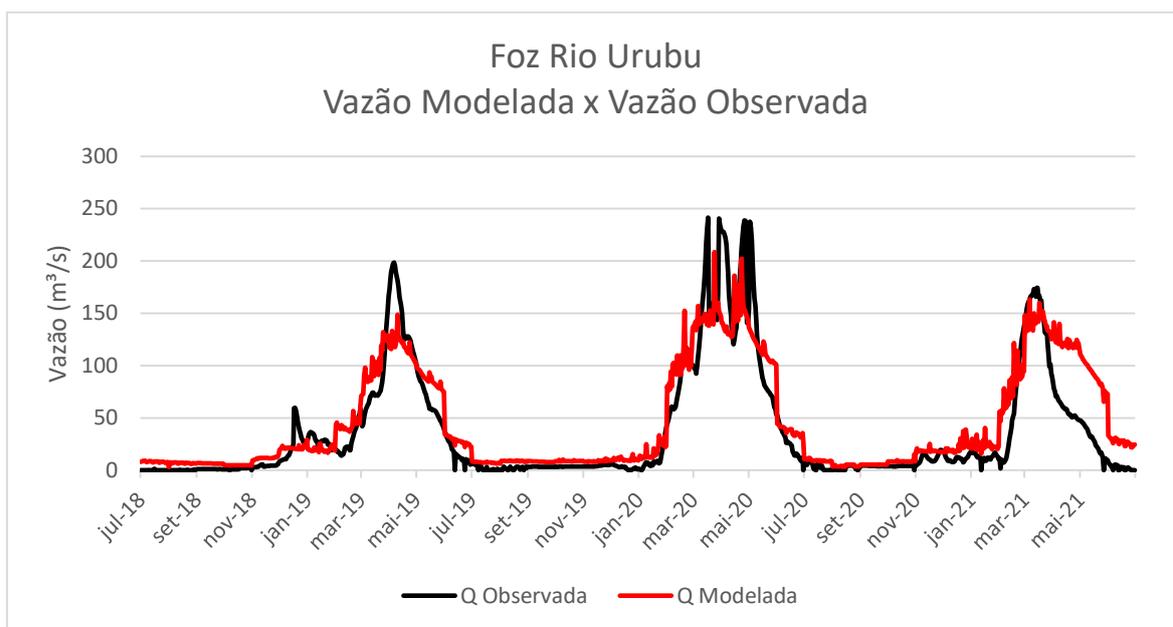


Figura 64 - Hidrograma das vazões observada e modelada para a estação Foz Rio Urubu, considerando o período de 1/7/2018 a 30/6/2021.

Tabela 29 - Resultado das estatísticas de desempenho e respectivas classificações conforme Moriasi et al. (2015), para a calibração do modelo da BHRF na estação Foz Rio Urubu.

Estatística de Desempenho	Foz Rio Urubu	Classificação de Desempenho Moriasi et al. (2015)	
NSE	0,79	$0,7 < NSE \leq 0,8$	Bom
PBIAS (%)	6,7	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$	Bom
R ²	0,8	$0,75 < R^2 \leq 0,85$	Bom

Como se observa na Tabela 30, os resultados das estatísticas de desempenho para a calibração da estação Foz Rio Urubu apresentaram uma classificação inferior à alcançada na calibração da estação Projeto Rio Formoso, porém, ainda são consideradas boas. Obteve-se NSE = 0,79, PBIAS = 6,7 e R² = 0,8. Os valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Dueré, Ribeirão Lago Verde e Urubu são apresentados na Tabela 31.

Tabela 30 - Valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Dueré, Ribeirão Lago Verde e Urubu após a calibração do modelo.

VARIÁVEIS	Unidade	SUB-BACIAS		
		Dueré	Rib.Lago Verde	Urubu
CAD	mm	6700	2500	3400
CAP	mm	6500	5500	6500
FRE				
Agropecuária	-	20	20	20
Área Não Vegetada	-	10	10	10
Agricultura Irrigada	-	30	30	30
Corpos d'água	-	10	10	10
Floresta	-	20	20	20
Formação Natural Não Florestal	-	20	20	20
CZR	mm/dia	20	30	45
CP	mm/dia	3	3	2
DPF				
Janeiro	-	0,9	0,9	0,9
Fevereiro	-	1	1	1
Março	-	1	1	1
Abril	-	1	1	1
Maio	-	0,85	0,85	0,85
Junho	-	0,7	0,7	0,7
Julho	-	0,3	0,3	0,3
Agosto	-	0	0	0
Setembro	-	0,2	0,2	0,2
Outubro	-	0,1	0,1	0,1
Novembro	-	0,4	0,4	0,4
Dezembro	-	0,7	0,7	0,7
Inicial Z1	%	0,1	0,1	0,1
Inicial Z2	%	0	0	0

Por fim, efetuou-se a calibração do modelo na estação Foz Rio Formoso, próxima ao exutório da BHRF, modificando os parâmetros de solo das sub-bacias Xavante e Baixo Formoso. O hidrograma das vazões observada e simulada para essa estação é apresentado na Figura 65 e os resultados das estatísticas de desempenho são indicados na Tabela 32.

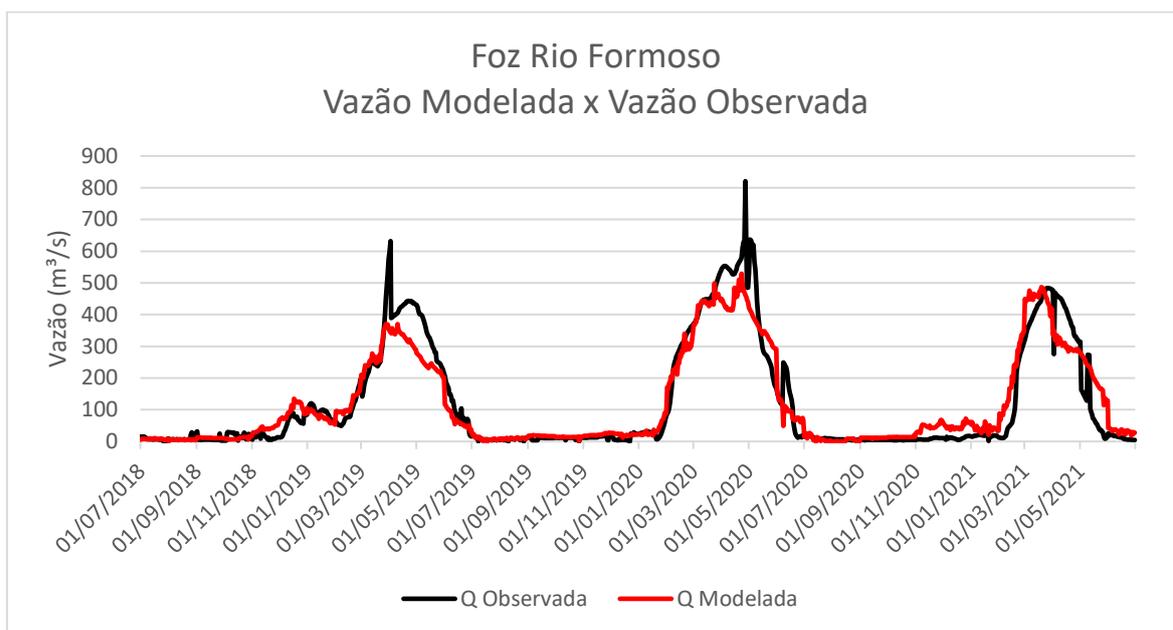


Figura 65 - Hidrograma das vazões observada e modelada para a estação Foz Rio Formoso, considerando o período de 1/7/2018 a 30/6/2021.

Tabela 31. Resultado das estatísticas de desempenho e respectivas classificações conforme Moriasi et al. (2015), para a calibração do modelo da BHRF na estação Foz Rio Formoso.

Estatística de Desempenho	Foz Rio Formoso	Classificação de Desempenho Moriasi et al. (2015)	
NSE	0,89	$0,8 < NSE \leq 1,00$	Muito Bom
PBIAS (%)	-7,4	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$	Bom
R ²	0,91	$0,85 < R^2 \leq 1,00$	Muito Bom

Conforme a Tabela 32, os resultados das estatísticas de desempenho para a estação Foz Rio Formoso foram $NSE = 0,89$, $PBIAS = -7,4\%$ e $R^2 = 0,91$. Observa-se que a classificação de desempenho para o NSE e R^2 foram muito boas, enquanto que o PBIAS obteve um ajuste considerado bom. Além disso, o PBIAS apresentou valor negativo, diferentemente das demais estações, o que indica um viés médio de superestimação do modelo. Os valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Xavante e Baixo Formoso são apresentados na Tabela 33.

Tabela 32 - Valores finais dos parâmetros de solo para as sub-bacias Xavante e Baixo Formoso após a calibração do modelo.

VARIÁVEIS	Unidade	SUB-BACIAS	
		Xavante	Baixo Formoso
CAD	mm	3000	7500
CAP	mm	2500	7000
FRE			
Agropecuária	-	20	20
Área Não Vegetada	-	10	10
Agricultura Irrigada	-	30	30
Corpos d'água	-	10	10
Floresta	-	20	20
Formação Natural Não Florestal	-	20	20
CZR	mm/dia	40	35
CP	mm/dia	3	2
DPF			
Janeiro	-	0,9	0,9
Fevereiro	-	1	1
Março	-	1	1
Abril	-	1	1
Maio	-	0,85	0,85
Junho	-	0,7	0,7
Julho	-	0,3	0,3
Agosto	-	0	0
Setembro	-	0,2	0,2
Outubro	-	0,1	0,1
Novembro	-	0,4	0,4
Dezembro	-	0,7	0,7
Inicial Z1	%	0,1	0,1
Inicial Z2	%	0	0

5.3 ANÁLISE DE CENÁRIOS

Os Cenários PB-A e PB-B reproduziram, respectivamente, os Cenários A e B da regra amarela do Plano do Biênio. Esses cenários propõem, durante o mês de julho, a aplicação de regras de rodízio às bombas de captação d'água localizadas nas regiões críticas: DIRF (Médio Formoso), Baixo Formoso, Foz Rio Formoso e Foz Rio Urubu.

No trecho final dos rios das respectivas regiões, avaliou-se os resultados de vazão remanescente, comparando-os com as vazões do Cenário de Referência e com as vazões ambientais mínimas estabelecidas pela outorga coletiva, correspondentes a 25% das vazões de referência Q90 Sazonal e Q95 Mensal. .

5.3.1 DIRF – Médio Formoso

A Figura 66 apresenta os resultados de vazão no trecho final do Médio Formoso (DIRF), antes da confluência do rio Xavante, para os cenários Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho, correspondentes à Q90 sazonal (limite mais flexível), cujo o valor é 0,52 m³/s; e à Q95 mensal (limite conservador), que é igual a 1,83 m³/s.

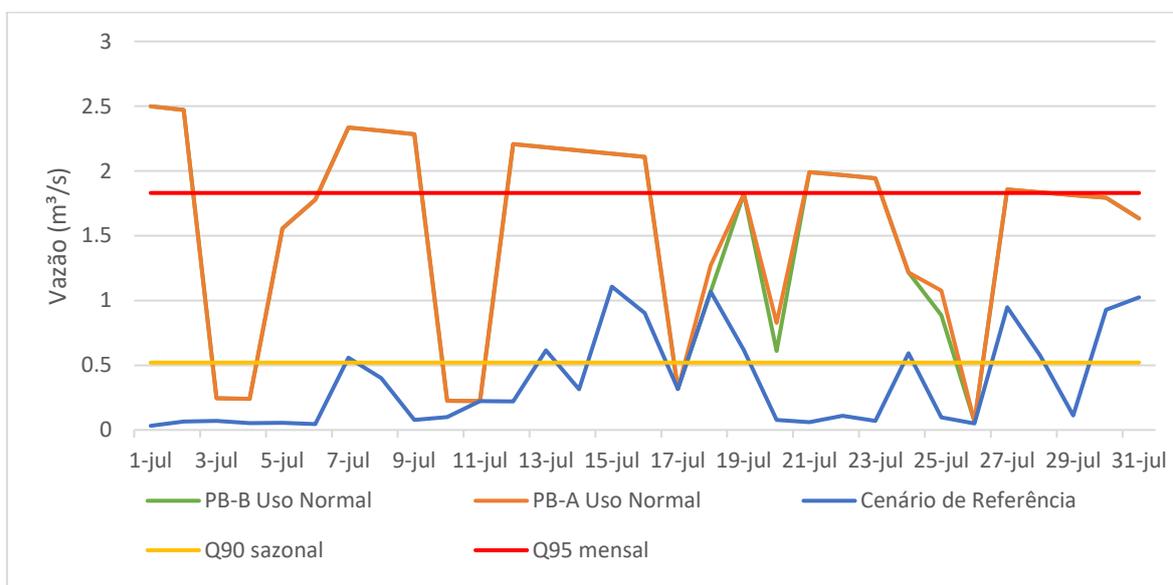


Figura 66 - Vazão remanescente no Médio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (vermelho).

Na Figura 66, a média das vazões diárias para o Cenário de Referência (azul), durante o mês de julho de 2018, é de 0,37 m³/s. Nesse período, a vazão máxima atinge o valor de 1,1 m³/s e a vazão mínima é de 0,032 m³/s. As vazões no Cenário de Referência são superiores ao limite flexível (amarelo) em 35% dos dias. Porém, ao longo de todo o período, tais vazões não ultrapassam o limite conservador (vermelho).

No Cenário PB-A (laranja), a estratégia de rodízio adotada pelo Cenário A do Plano do Biênio promove uma aumento nas vazões remanescentes diárias. A vazão média atinge

um valor de 1,56 m³/s e os valores máximos e mínimos alcançam 2,5 m³/s e 0,06 m³/s, respectivamente. Ao longo do período, as vazões nesse cenário superam o limite mais flexível em 81% dos dias e o limite conservador em 48% dos dias.

No Cenário PB-B, as regras de rodízio das bombas, propostas pelo Cenário B do Plano do Biênio, levam a um comportamento da vazão ao longo do período semelhante ao observado no Cenário PB-A. Os valores de vazão mínima e máxima obtidos são os mesmos que os observados no Cenário PB-A e a vazão média é de 1,54 m³/s. Em 81% dos dias, a vazão ambiental no Cenário PB-B é superior ao limite mais flexível e, no que se refere ao limite conservador, esse valor é de 48%.

A Figura 67 apresenta os resultados de vazão ambiental no DIRF para os cenários de referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho.

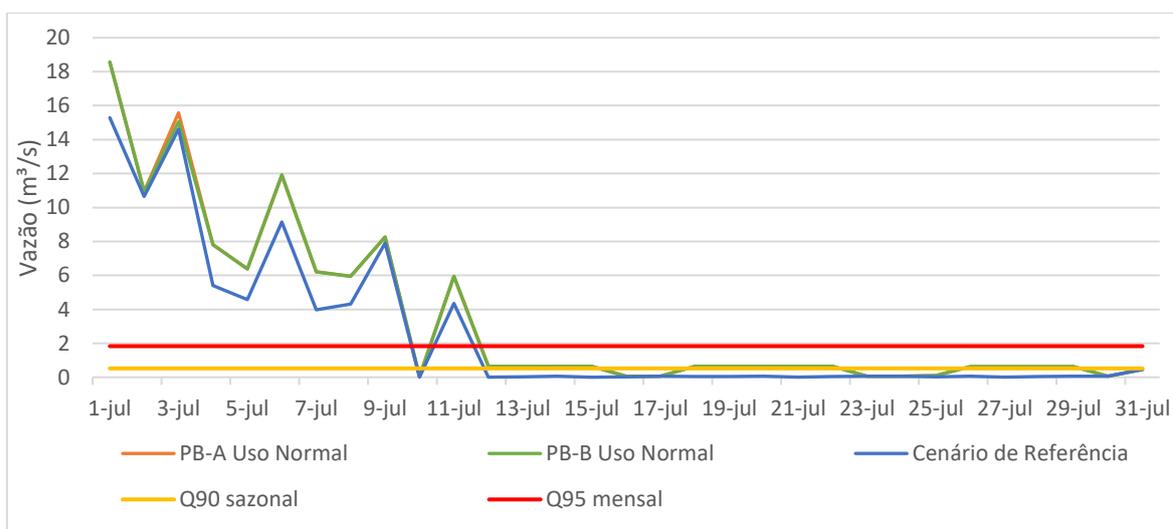


Figura 67 - Vazão remanescente no Médio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Observa-se na Figura 67 um comportamento das vazões distinto do observado na Figura 66, referente ao mês de julho de 2018. Durante quase toda a primeira quinzena do mês, as vazões nos cenários são consideravelmente mais elevadas do que os limites de vazão ambiental, mesmo havendo uma queda contínua ao longo desse intervalo de tempo. Porém, a partir do dia 12, as vazões diárias são inferiores a 1 m³/s, o que pode indicar que no ano de 2019 o período crítico tenha se iniciado antes do dia 1º de agosto. Assim, devido à indisponibilidade hídrica, as vazões de captação são baixas ou até mesmo nulas, de modo

que as regras de rodízio não são suficientes para aumentar consideravelmente a vazão remanescente

Por conta dos elevados valores de vazão registrados na primeira quinzena do mês, as estatísticas apresentam valores maiores em todos os cenários avaliados. No cenário de Referência, a vazão média é de 2,62 m³/s e as vazões máxima e mínima são, respectivamente, iguais a 15,3 m³/s e 0,001 m³/s. Em 32% dos dias a vazão ambiental é superior tanto a 25% da Q90 sazonal quanto a 25% da Q95 mensal. Ao se avaliar o período crítico, que se inicia tardiamente no dia 12 de julho e dura até o final do período, a vazão média é muito baixa, igual a 0,06 m³/s.

Com a aplicação das regras de rodízio às bombas proposta no Cenário PB-A, a vazão média aumenta 31% em relação ao Cenário de Referência, alcançando um valor de 3,44 m³/s. No que se refere às vazões mínima e máxima calculadas, obteve-se 0,04m³/s e 18,6 m³/s, respectivamente.

Ainda com relação ao Cenário PB-A, a parcela de dias em que a vazão ambiental é superior a 25% da Q90 sazonal é igual a 74%, o que representa um aumento de 42% em relação ao valor representativo do cenário de Referência. Não houve aumento na fração de dias que apresentou valores superiores à 25% da Q95 mensal, evidenciando que o rodízio implementado pelo Cenário PB-A não foi suficiente para aumentar a disponibilidade hídrica para além desse limite.

No que diz respeito ao Cenário PB-B, o comportamento de sua curva, bem como os valores de vazão e respectivas estatísticas, são bastante semelhantes aos do Cenário PB-A. A vazão média obtida foi de 3,43 m³/s, o que representa um aumento de 31% em relação à vazão média obtida no Cenário de Referência, e as vazões mínima e máxima foram de 0,04 m³/s e 18,6 m³/s, respectivamente.

A aplicação das regras de rodízio previstas no Cenário PB-B promoveram um aumento no valor das vazões diárias que foi superior ao limite correspondente a 25% da Q90 sazonal em 74% dos dias. Todavia, assim como no Cenário PB-A, tais regras não foram suficientes para aumentar a parcela de dias com valores de vazão superiores à 25% da Q95 mensal.

A Figura 68 apresenta os resultados de vazão no trecho final do Médio Formoso, na região do DIRF, para os cenários de Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho.

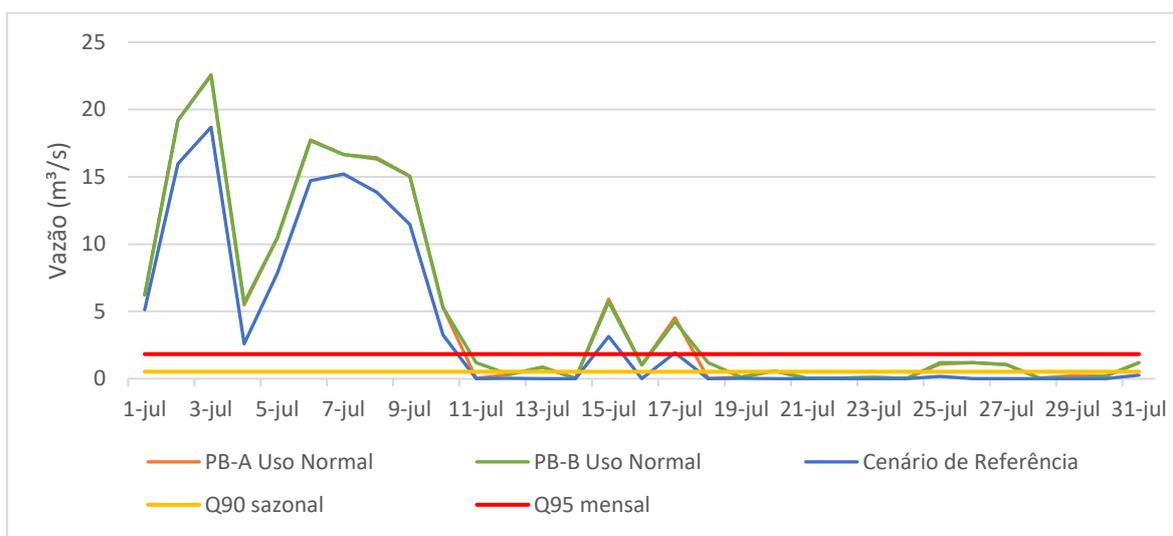


Figura 68 - Vazão remanescente no Médio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Conforme indica a Figura 68, em julho de 2020 o período crítico tem início no final da primeira quinzena do mês, assim como foi no ano de 2019. Do dia 11 até o final do período, a disponibilidade hídrica no trecho final do Médio Formoso é inferior, na maioria dos dias, aos limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva.

O Cenário de Referência apresenta uma vazão média mensal igual a 3,69 m³/s e vazões mínima e máxima iguais a 0,003m³/s e 18,68 m³/s, respectivamente. Em 39% dos dias a vazão é superior à 25% da Q90 sazonal, sendo essa mesma parcela representativa do número de dias cujo as vazões são superiores a 25% da Q95 mensal.

Com a aplicação das regras do Cenário PB-A, a vazão média mensal cresce 34,4% e atinge um valor de 4,96 m³/s, enquanto que as vazões mínima e máxima são iguais a 0,02 m³/s e 22,6 m³/s, respectivamente. Além disso, em 61% dos dias as vazões são superiores a 25% da Q90 sazonal, não havendo aumento do número de dias com vazões superiores à 25% da Q95 mensal.

No Cenário PB-B, a vazão média média mensal é igual a 5,02 m³/s, o que corresponde um aumento de 36 % em relação ao Cenário de Referência. As vazões mínima e máxima são iguais a 0,03 m³/s e 22,5 m³/s, respectivamente. Com o rodízio das bombas, a fração de dias com vazões superiores à 25% da Q90 sazonal atinge 54% dos dias, enquanto que a parcela referente aos dias com vazões superiores à 25% da Q95 mensal são mantidos.

5.3.2 Baixo Formoso

A Figura 69 apresenta os resultados de vazão, no trecho final do Baixo Formoso, para os cenários de Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho, referentes a 25% da Q90 sazonal ($0,73 \text{ m}^3/\text{s}$) e 25% Q95 mensal ($3,22 \text{ m}^3/\text{s}$).

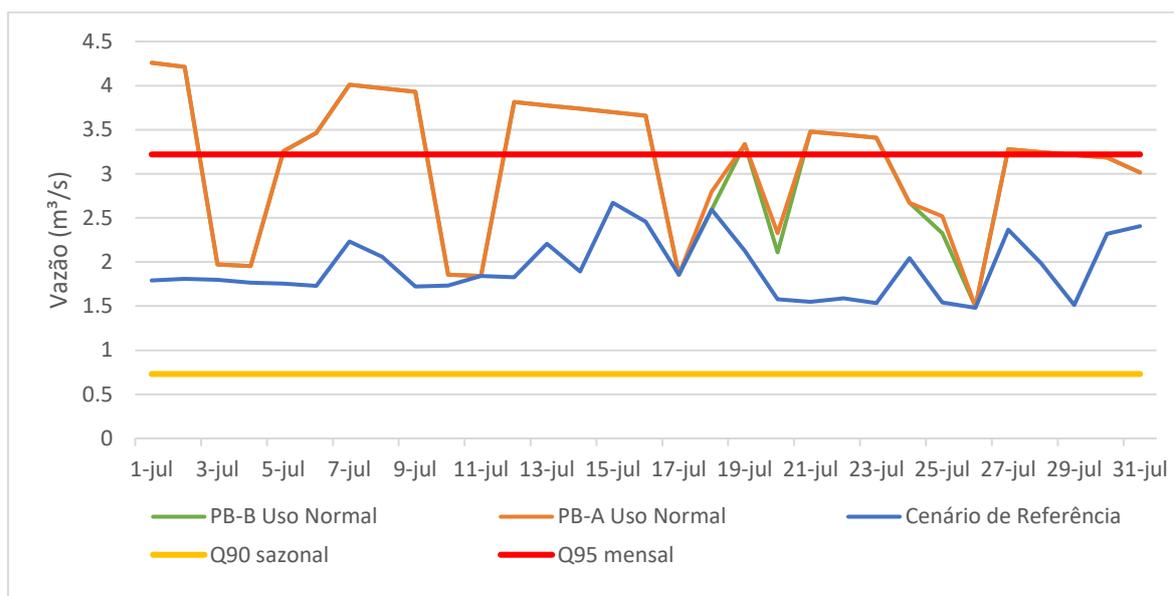


Figura 69 - Vazão remanescente no Baixo Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

A curva com as vazões diárias no trecho final do Baixo Formoso para todos os cenários e todos os anos apresentam o mesmo comportamento das curvas de vazões referentes ao trecho final do Médio Formoso. Porém, com a afluência do Xavante, os valores são maiores a ponto de serem superiores a 25% da Q90 sazonal ao longo de todo o mês. No Cenário de Referência, a vazão média mensal é igual $1,93 \text{ m}^3/\text{s}$, um valor 65% superior a 25% da Q90 sazonal, enquanto que as vazões mínima e máxima são iguais a $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2,67 \text{ m}^3/\text{s}$.

Com a aplicação das regras do cenário PB-A, a vazão média mensal aumenta 62% e alcança $3,12 \text{ m}^3/\text{s}$. Nesse cenário, as vazões mínima e máxima são iguais, respectivamente, a $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e, em 58% dos dias a vazão modelada é superior à vazão ambiental correspondente a 25% da Q95 mensal.

No cenário PB-B, a vazão média é igual a 3,1 m³/s, o que representa o mesmo aumento percentual obtido no Cenário PB-A com relação ao Cenário de Referência. As vazões mínima e máxima são iguais, respectivamente, a 1,51 m³/s e 4,26 m³/s e, em 48% dos dias a vazão modelada é superior a 25% da Q95 mensal.

Vale ressaltar que, nesse período, a série de vazões de captação no trecho ou apresentam falhas ou não apresentam dados registrados, como pode ser visualizado no Apêndice A. Dessa forma, o aumento da vazão promovido pelos cenários PB-A e PB-B são resultado da implementação dessas regras no trecho de montante, correspondente ao DIRF (Médio Formoso).

A Figura 70 apresenta os resultados de vazão, no trecho final do Baixo Formoso, para os cenários de Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho.

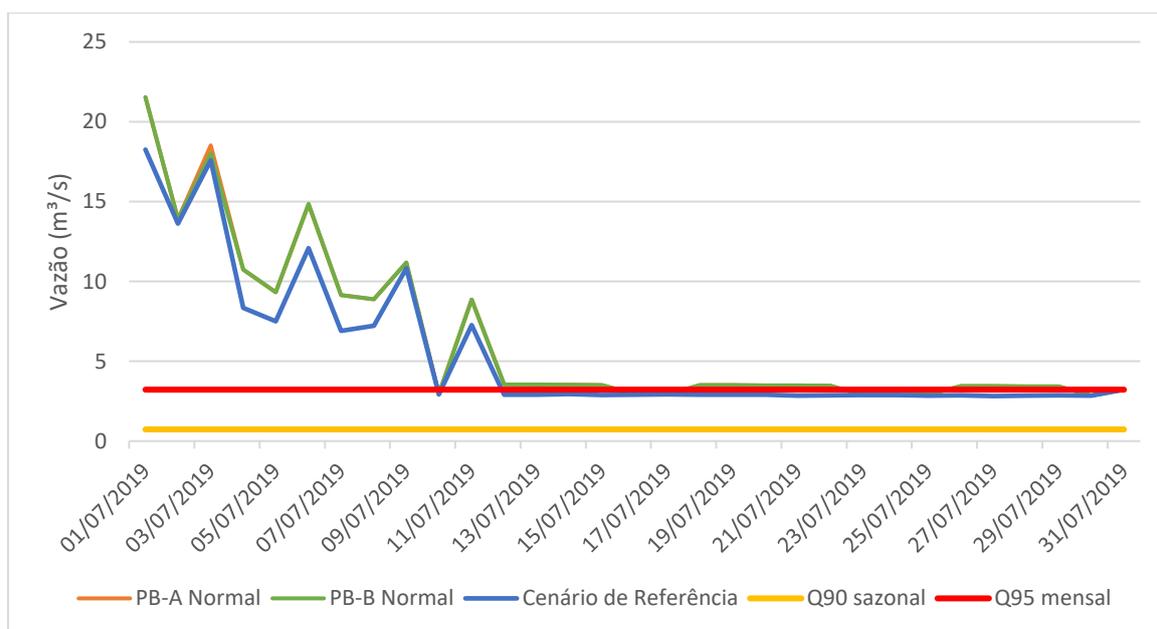


Figura 70 - Vazão remanescente Baixo Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

As vazões no Cenários de Referência apresentam valores superiores aos limites de vazão ambiental estabelecidos durante quase toda a primeira quinzena do mês de julho de 2019. Nesse período, as vazões caem continuamente até se estabilizarem no dia 13, com valores próximos à vazão ambiental correspondente a 25% da Q95 mensal. A vazão média

mensal para esse cenário é igual 5,50 m³/s e as vazões mínima e máxima são, respectivamente, iguais a 2,82 m³/s e 18,26 m³/s.

No cenário PB-A, a vazão média é igual a 6,32 m³/s, o que representa um aumento de apenas 15% em relação à vazão média obtida no Cenário de Referência. As vazões mínima e máxima são iguais a 2,85 m³/s e 21,53 m³/s, respectivamente. Em 77 % dos dias a vazão supera a vazão ambiental correspondente a 25% da Q95 mensal.

As regras de rodízio aplicadas pelo cenário PB-B apresentam valores similares aos obtidos no cenário PB-A. A vazão média mensal é igual a 6,30 m³/s e as vazões mínima e máxima são, respectivamente, 2,85m³/s e 21,53 m³/s. Assim como no cenário PB-A, em 77% dos dias a vazão é superior a 25% da Q95 mensal.

Assim como no ano anterior, não foram registrados dados de captação d'água nesse período, ou por falhas no registro ou pela não realização de medições. Observa-se que a vazão remanescente alcança resultados superiores ao limite mais conservador, mesmo depois do dia 13. Acredita-se que, caso houvesse dados de captação na região, a disponibilidade hídrica seria ainda maior, tanto nesse trecho, como na foz do rio Formoso.

A Figura 71 apresenta os resultados de vazão, no trecho final do Baixo Formoso para os cenários de Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho.

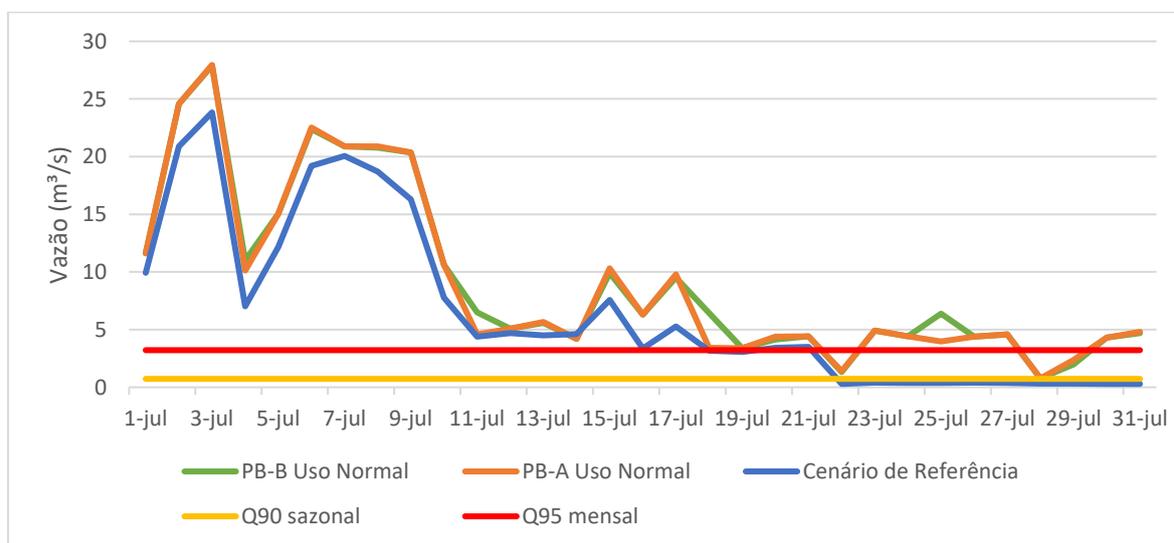


Figura 71 - Vazão remanescente no Baixo Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Nesse período da modelagem, a vazão no Cenário de Referência é superior aos limites de vazão ambiental ao longo de toda a primeira quinzena do mês. Porém, do dia 22 em diante, a disponibilidade hídrica em alguns dias é inferior aos limites de vazão ambiental estabelecidos. A vazão média no cenário de Referência é igual a 6,7 m³/s e as vazões mínima e máxima são, respectivamente, 0,29 m³/s e 23,83 m³/s. Os valores de vazão são maiores que 25% da Q90 sazonal em 68% dos dias, enquanto que em 61% , a vazão é superior a 25% da Q95 mensal.

A aplicação das regras de rodízio às bombas de captação d'água, previstas no cenário PB-A, eleva em 36% a vazão média mensal no Cenário de Referência, o que corresponde a 9,1 m³/s. As vazões mínima e máxima obtidas para o período são iguais a 0,8 m³/s e 27,9 m³/s, respectivamente. Adicionalmente, em 100% dos dias a vazão é superior a 25% da Q90 sazonal, enquanto que a parcela de dias com valores superiores à vazão ambiental referente a 25% da Q95 mensal corresponde a 90%.

Com as regras de operação das bombas no cenário PB-B, a vazão média passar a valer 9,3 m³/s, o que corresponde a um aumento de 39% na vazão média mensal do Cenário de Referência. As vazões mínima e máxima registradas equivalem a 0,77 m³/s e 27,9 m³/s, respectivamente. Em 100% dos dias, a vazão remanescente supera a vazão ambiental referente a 25% da Q90 sazonal, enquanto a fração de dias com valores superiores a 25% da Q95 mensal é igual a 90%.

Apesar de haver registros de captação durante o mês de julho desse ano, ainda assim, essa parcela é baixa. Parte do aumento da vazão remanescente nesse trecho se deve às regras de rodízio aplicadas a montante. Assim, caso houvesse registros de captação neste trecho, possivelmente os resultados de vazão remanescente seriam maiores.

5.3.3 Foz Rio Urubu

A Figura 72 apresenta os resultados de vazão na Foz do Rio Urubu para os cenários Referência, 3 e 4, ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho, correspondentes à Q90 sazonal (0,311 m³/s) e à Q95 mensal (0,90 m³/s).

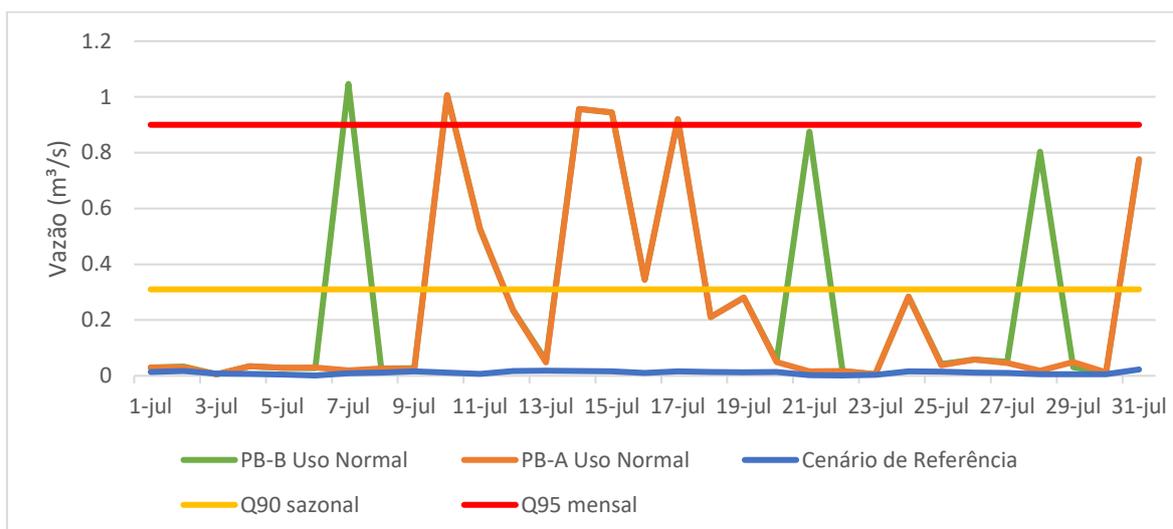


Figura 72 - Vazão remanescente na foz do rio Urubu para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Observa-se, no mês de julho de 2018, uma situação bastante crítica no que se refere à disponibilidade hídrica na Foz do Rio Urubu. No Cenário de Referência, as vazões são nulas ao longo de todo o período. A vazão média mensal é igual a 0,011 m³/s e as vazões mínima e máxima são iguais 0,001 e 0,023 m³/s, respectivamente.

Segundo pesquisadores e técnicos que atuam na BHRF, existe um consenso de que o rio Urubu é intermitente, embora essa informação seja muito mais empírica do que científica. Além disso, IAC (2017) salienta que esse rio concentra a maior quantidade de bombas por extensão dentre os principais rios da BHRH, cuja capacidade de bombeamento da maioria delas é superior a 1,5 m³/s, fazendo com que o nível de água do rio recue consideravelmente quando elas são acionadas.

A aplicação das regras de rodízio às bombas, segundo o Cenário PB-A, promovem um aumento de 0,22 m³/s na vazão média, em relação ao Cenário de Referência, atingindo um valor de 0,23 m³/s. As vazões mínima e máxima são iguais a 0,01 m³/s e 1,01 m³/s, respectivamente. Em 23% dos dias, a vazão no trecho final da foz do rio Urubu é superior a 25% Q90 sazonal, enquanto que a parcela de dias com vazões superiores a 25% da Q95 mensal é igual a de 13%.

No Cenário PB-B, a vazão média mensal obtida foi de 0,31 m³/s, o que representa um aumento de 0,3 m³/s na vazão média mensal da foz do rio Urubu, em relação ao Cenário de Referência. Apesar das curvas nos Cenários PB-A e PB-B serem semelhantes, a vazão média mensal no segundo é 41% maior que no primeiro, devido a uma maior disponibilidade

hídrica nos dias 7, 21 e 28. As vazões mínima e máxima no PB-B são, respectivamente, 0,01 m³/s e 1,05 m³/s. Ao longo do período, 32% das vazões são superiores a 25% da Q90 sazonal, enquanto que a parcela de dias com vazões superiores a 25% da Q95 mensal é igual a 16%.

A Figura 73 apresenta os resultados de vazão na Foz do Rio Urubu para os cenários Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho, correspondentes à Q90 sazonal e à Q95 mensal.

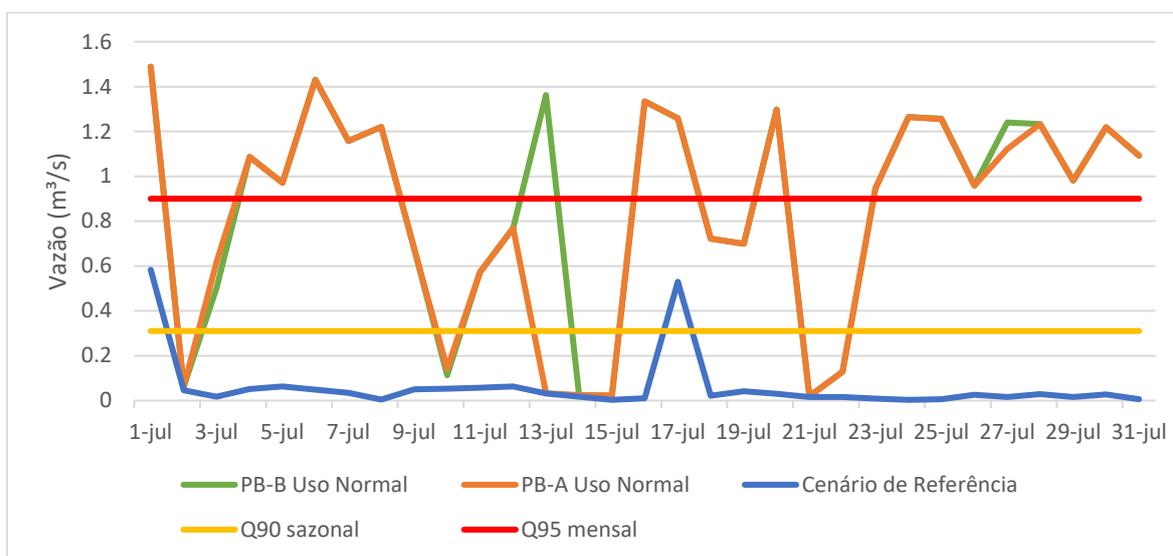


Figura 73 - Vazão remanescente na foz do rio Urubu para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

No mês de julho de 2019, as vazões diárias no Cenário de Referência seguem a mesma tendência registrada no ano anterior, com valores quase nulos ao longo do período. A máxima vazão registrada é igual a 0,58 m³/s e somente nos dias 1 e 17 as vazões são superiores a 25% da Q90 sazonal.

No Cenário PB-A, a vazão média é igual a 0,83 m³/s e as vazões mínima e máxima são, respectivamente, 0,02 m³/s e 1,5 m³/s. Em 77% dos dias, a vazão diária é superior a 25% da Q90 sazonal e em 58% dos dias a vazão supera o limite referente a 25% da Q95 mensal.

No Cenário PB-B, a vazão média é igual a 0,87 m³/s e as vazões mínima e máxima são exatamente as mesmas que as obtidas no Cenário PB-A. Em 81% dos dias a vazão diária

é superior a 25% da Q90 sazonal, enquanto que em 61%, as vazões ultrapassam o limite mais conservador..

A Figura 74 apresenta os resultados de vazão na Foz do Rio Urubu para os cenários Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho, correspondentes à Q90 sazonal e à Q95 mensal.

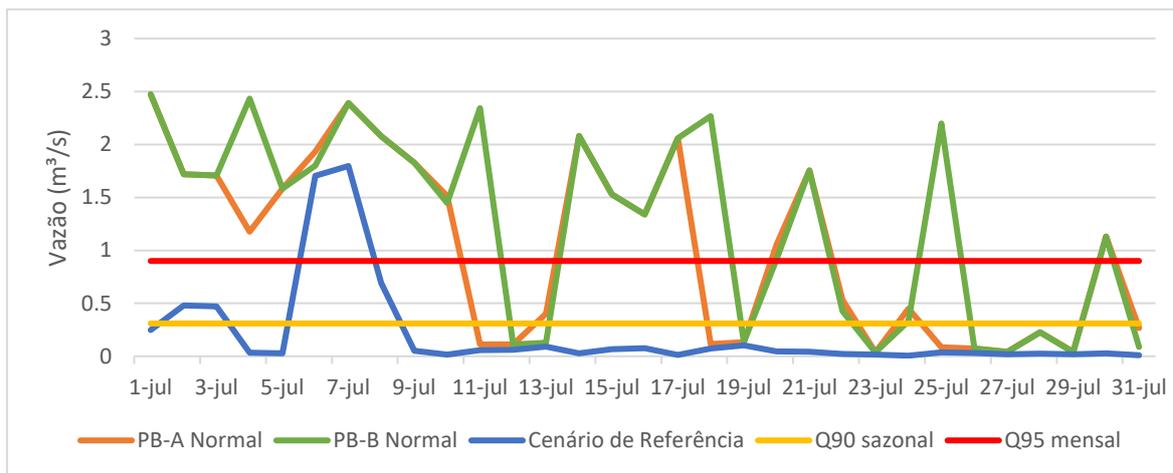


Figura 74 - Vazão remanescente na foz do rio Urubu para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Em julho de 2020, o Cenário de Referência apresenta vazão média igual a $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão máxima atinge o valor de $1,80 \text{ m}^3/\text{s}$. As vazões diárias superam 25% da Q90 sazonal em 16% dos dias, enquanto que somente nos dias 6 e 7 as vazões são superiores a 25% Q95 mensal.

Com a aplicação das regras de rodízio das bombas no Cenário PB-A, a vazão média aumenta $0,82 \text{ m}^3/\text{s}$ e atinge o valor de $1,03 \text{ m}^3/\text{s}$. Nesse cenário a vazão máxima é igual a $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e a mínima, igual a $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$. Em 65% dos dias a vazão diária supera 25% da Q90 sazonal, enquanto que em 55% a vazão diária ultrapassa 25% da Q95 mensal.

No Cenário PB-B, a vazão média é igual $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$, o que representa um aumento de 52% em relação à vazão média mensal do Cenário PB-A. A vazão máxima é igual a $2,47 \text{ m}^3/\text{s}$ e a mínima vale $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$. Em 71% dos dias a vazão diária é superior à vazão correspondente à 25% da Q90 sazonal. Em 65% as vazões ultrapassam 25% da Q95 mensal.

5.3.4 Foz Rio Formoso

A Figura 75 apresenta os resultados de vazão na Foz do Rio Formoso para os cenários Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho, correspondentes à Q90 sazonal (1,05 m³/s) e à Q95 mensal (5,43 m³/s).

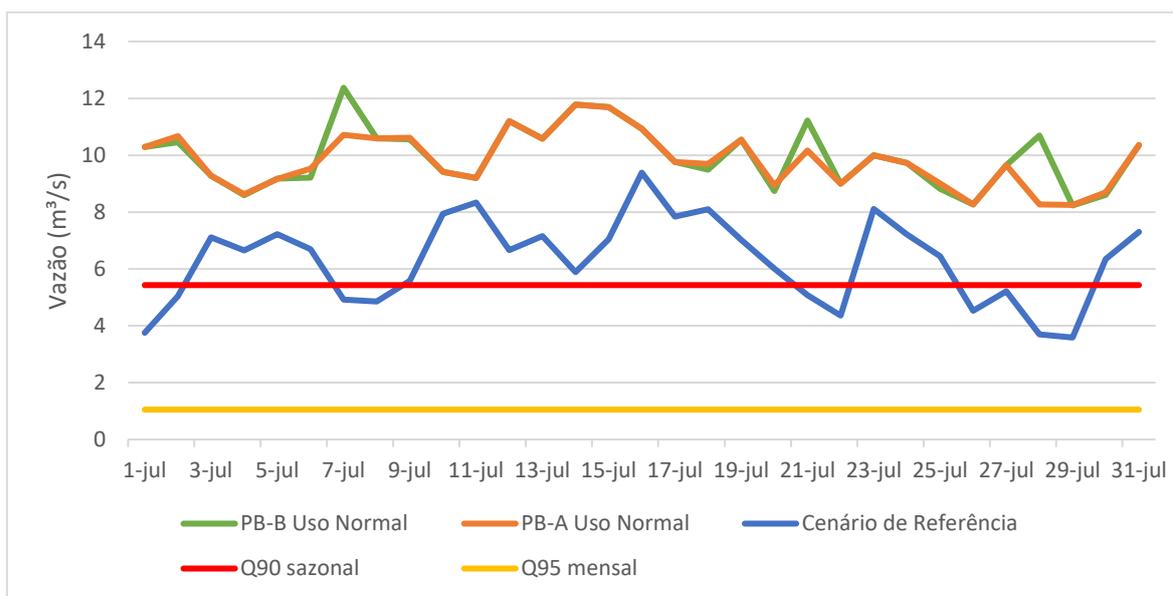


Figura 75 - Vazão remanescente na foz do rio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2018, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Durante todo o mês de julho de 2018, a vazão na foz do rio Formoso no Cenário de Referência é superior ao limite de vazão ambiental correspondente a 25% da Q90 sazonal. Nesse ponto, o rio Formoso já recebeu as contribuições das sub-bacias do Dueré, Ribeirão Lago Verde e Urubu e a vazão média mensal é igual a 6,29 m³/s. As vazões mínima e máxima são, respectivamente, 3,6 m³/s e 9,4 m³/s. Em 68% dos dias a vazão remanescente é superior ao limite de vazão ambiental conservador.

Com a aplicação das regras de rodízio, simuladas no Cenário PB-A, a vazão média passa a valer 9,8 m³/s, o que representa um aumento de 56% em relação à vazão média mensal calculada no Cenário de Referência. As vazões mínima e máxima são, respectivamente, 8,3 m³/s e 11,8 m³/s. Em 100% dos dias a vazão supera os limites de vazão ambiental estabelecidos.

No Cenário PB-B, a vazão média é igual a 9,95 m³/s, o que representa um aumento de 58,2% em relação à vazão média mensal obtida no Cenário de Referência. As vazões mínima e máxima correspondem, respectivamente, a 8,23 m³/s e 12,4 m³/s. A vazão em 100% dos dias é superior tanto ao limite de vazão ambiental mais flexível, corresponde a 25% da Q90 sazonal, quanto ao limite mais conservador, correspondente 25% da Q95 mensal.

A Figura 76 apresenta os resultados de vazão na Foz do Rio Formoso para os cenários Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho.

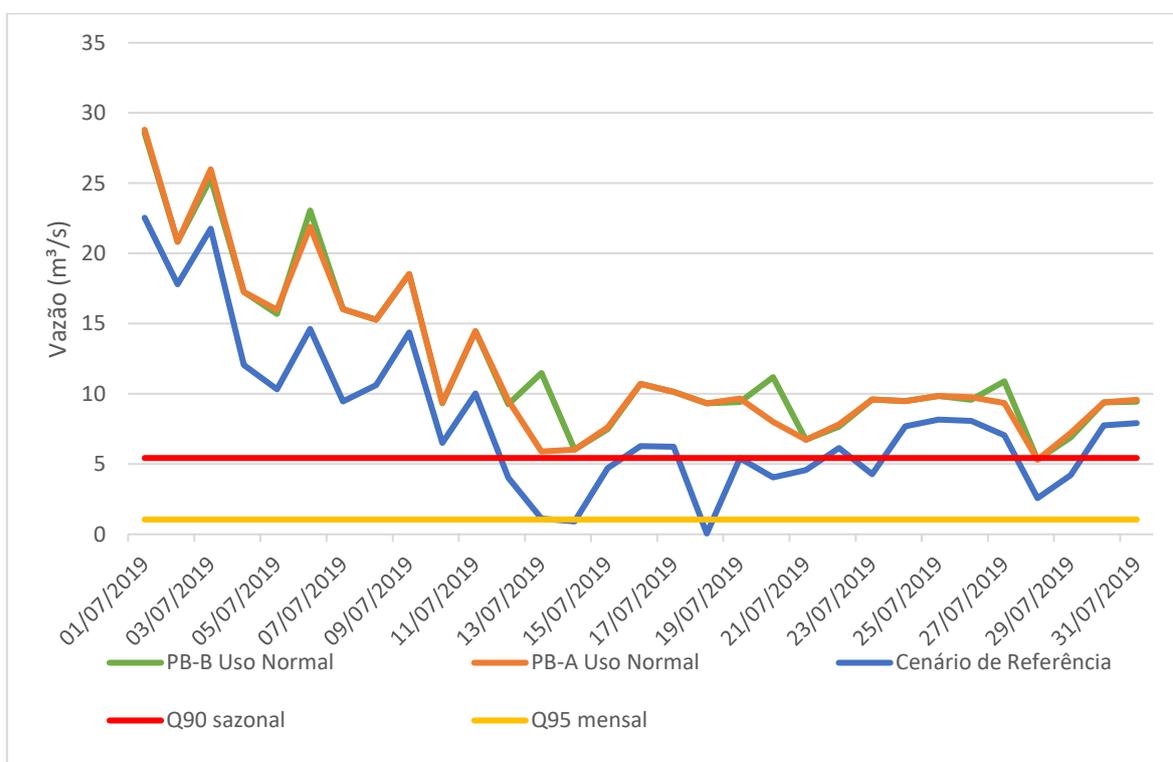


Figura 76 - Vazão remanescente na foz do rio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2019, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

No mês de julho de 2019, a curva correspondente ao Cenário de Referência apresenta, durante quase toda a primeira quinzena do mês, valores de vazão superiores aos limites de vazão ambiental. Porém, do dia 13 em diante, em alguns dias, a vazão será inferior ou ao limite mais flexível, ou ao limite mais conservador. A vazão média mensal para esse cenário é igual a 8,11 m³/s e as vazões mínima e máxima valem, respectivamente, 0,05 m³/s e 22,54

m³/s. A vazão é superior a 25% da Q90 sazonal em 94% dos dias, enquanto que em relação a 25% da Q95 mensal, essa parcela vale 65%.

Com a aplicação das regras propostas pelo cenário PB-A, a vazão média mensal é igual a 12,11 m³/s, enquanto que as vazões mínima e máxima valem, respectivamente, 5,32 m³/s e 28,8 m³/s. A vazão supera o limite de vazão ambiental mais flexível em 100% dos dias, enquanto que a fração de dias com vazões superiores ao limite mais conservador é igual a 97%.

As regras de operação das bombas, simuladas pelo cenário PB-B, promovem um aumento de 53% na vazão média mensal, em relação ao Cenário de Referência, de modo que a vazão média passa a valer 12,4 m³/s. As vazões mínima e máxima obtidas são, respectivamente, 5,32 m³/s e 28,5 m³/s. Em 100% dos dias a vazão é superior a 25% da Q90 sazonal, enquanto que em 97% dos dias, a vazão remanescente é maior que a vazão ambiental correspondente a 25% da Q95 mensal.

A Figura 77 apresenta os resultados de vazão na Foz do Rio Formoso para os cenários Referência, PB-A e PB-B, ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites mínimos de vazão ambiental estabelecidos pela outorga coletiva para o trecho.

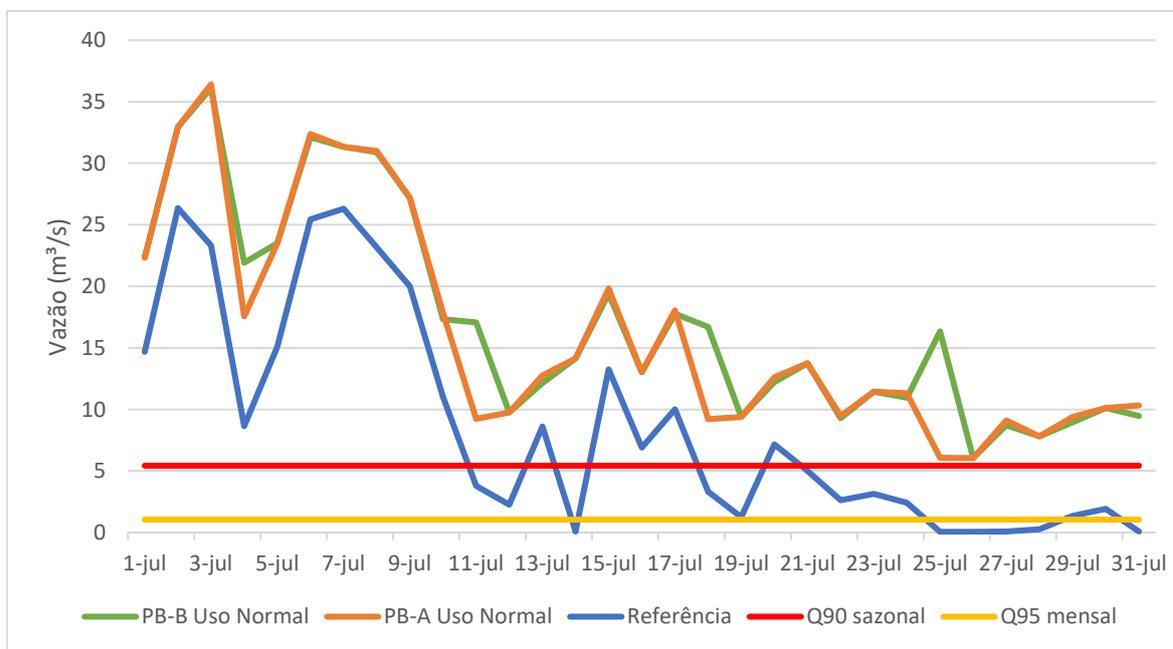


Figura 77 - Vazão remanescente na foz do rio Formoso para os cenários Referência (azul), PB-A (laranja) e PB-B (verde), ao longo do mês de julho de 2020, bem como os limites de vazão ambiental flexível (amarelo) e conservador (conservador).

Assim como no ano anterior, a curva de vazões no Cenário de Referência para o mês de julho de 2020 apresenta valores superiores aos limites de vazão ambiental durante quase toda a sua primeira quinzena. Porém, a partir da segunda quinzena essa vazão cai e chega a atingir valores inferiores ao limite mais flexível de vazão ambiental. A vazão média mensal para esse cenário é igual a 8,64 m³/s e as vazões mínima e máxima correspondem, respectivamente, a 0,06 m³/s e 26,36 m³/s. Em 81% dos dias a vazão é superior 25% da Q90 sazonal, enquanto que a parcela de dias com valores de vazão superiores a 25% da Q95 mensal é igual a 48%.

No cenário PB-A, o revezamento dos grupos de bombas elevam em 89% a vazão média mensal, que passa a valer 16,3 m³/s. As vazões mínima e máxima são, respectivamente, iguais a 6,05 m³/s e 36,4 m³/s. Em 100% dos dias a vazão é superior tanto a 25% da Q90 sazonal, quanto a 25% da Q95 mensal.

No cenário PB-B, a média mensal diária aumenta 98%, em comparação com a vazão média do Cenário de Referência, e é igual a 17,1 m³/s. As vazões mínima e máxima são iguais, respectivamente, a 6,04 m³/s e 36,1 m³/s. Em 100% dos dias a vazão é superior tanto a 25% da Q90 sazonal, quanto a 25% da Q95 mensal.

6. CONCLUSÕES

A utilização do WEAP para a modelagem hidrológica da BHRF e posterior desenvolvimento de cenários, baseados na aplicação da outorga coletiva e nas regras de operação das bombas, propostas pelo Plano do Biênio 2018-2019, produziram resultados variados de vazão remanescente nos trechos críticos da bacia.

A calibração do modelo hidrológico gerou estatísticas que foram classificadas, em sua maioria, como “muito boas” para os postos fluviométricos selecionados, representados pelas estações Projeto Rio Formoso (NSE = 0,89 ; PBIAS = 2,7; R² = 0,89), Foz Rio Urubu (NSE = 0,79 ; PBIAS = 6,7; R² = 0,8) e Foz Rio Formoso (NSE = 0,89 ; PBIAS = -7,4 ; R² = 0,91).

Nas séries históricas de captação das bombas d’água, foram identificados períodos com falhas ou sem registros, principalmente no trecho correspondente ao baixo Formoso. Optou-se por não realizar procedimento de preenchimento de falhas nesses dados, tendo em vista a possibilidade de superestimar a demanda hídrica. Ainda assim, a simulação com os dados disponíveis produziram um aumento na vazão remanescente, principalmente nos trechos de jusante da BHRF.

No trecho crítico DIRF, na altura do médio rio Formoso, as regras de rodízio dos Cenários PB-A e PB-B, implementadas durante o mês de julho de 2018, promoveram um aumento na vazão remanescente que foi capaz de superar, em 81% dos dias, o limite de vazão ambiental flexível.

Nos anos de 2019 e 2020, observou-se no cenário de Referência, uma redução brusca da vazão remanescente a partir da segunda quinzena do mês de julho, o que pode indicar uma antecipação do período crítico, que geralmente ocorre no início do mês de agosto. Com o revezamento das bombas, a parcela de dias em que a vazão remanescente é superior ao limite de vazão ambiental flexível é igual a 74%.

A avaliação da vazão remanescente com relação ao limite de vazão ambiental conservador mostra, para todos os anos, a necessidade de uma restrição das captações ainda maior, uma vez que a porcentagem de dias cujas vazões superam esse limite, não ultrapassa 50%. Nos anos de 2019 e 2020, a aplicação das regras de rodízio não promovem um aumento do número de dias em que a vazão remanescente é superior a esse limite, evidenciando a ineficácia das regras.

Possivelmente, se a regra vermelha do Plano do Biênio, a ser aplicada durante o período crítico, fosse implementada durante a segunda quinzena do mês de julho de 2019 e 2020, poderia ter aumentado a disponibilidade hídrica no trecho crítico do DIRF e, assim, garantido o atendimento às exigências de vazão mínima.

Dentre os trechos críticos, a foz do rio Urubu apresenta a situação mais preocupante. Durante quase todo mês de julho, a vazão remanescente é nula para todos os anos. Com a aplicação das regras de rodízio, as vazões remanescentes máximas para os anos de 2018, 2019 e 2020 alcançam, respectivamente, os valores 1,05 m³/s, 1,5 m³/s e 2,5 m³/s, o que mostra que a implementação das regras às bombas não foram adequadas a esse trecho do rio. Tal resultado pode estar relacionado à intermitência do rio, constatado empiricamente pelos produtores da região.

De maneira geral, as regras de rodízio produzem resultados de vazão remanescente no baixo trecho e, sobretudo, na foz do rio Formoso, que são superiores durante quase todo mês de julho, ao limite conservador de vazão ambiental. Esses resultados também se devem às regras do Plano do Biênio aplicadas aos trechos críticos de montante, representado pelo Médio Formoso e Foz Rio Urubu.

O período de simulação, de apenas 3 anos, pode não indicar o período seco mais crítico. Além disso, não foram estabelecidas relações entre a qualidade ambiental do rio e as vazões de referência adotadas. Dessa forma, é possível que sejam necessárias vazões maiores, ou que sejam admitidas vazões menores, já que o rio praticamente seca naturalmente em alguns anos

7. RECOMENDAÇÕES

Com o aprimoramento do monitoramento da demanda e da disponibilidade hídrica na BHRF, recomenda-se que novas simulações sejam realizadas, considerando séries históricas mais completas, principalmente das captações realizadas pelas bombas ao longo dos trechos críticos. Assim, será possível representar com mais segurança os eventos na bacia, bem como os efeitos da adoção de novas políticas de gestão.

Sugere-se a elaboração de cenários baseados em outras alternativas de alocação de água, que permitam, por exemplo, avaliar a disponibilidade hídrica frente a mudanças de calendários e práticas agrícolas ou com relação ao aumento da eficiência da irrigação em todos os trechos críticos ou naqueles localizados a montante e que influenciam no volume de água disponível para os usos de jusante.

Acredita-se que as regras do Plano do Biênio, associadas ao Sistema GAN, possam levar a uma melhor disponibilidade hídrica na região. Porém, o envolvimento direto e efetivo dos usuários se mostra fundamental, uma vez que a BHRF é muito extensa e existem dificuldades na aplicação do instrumento de outorga. Além disso, a definição de um limite de vazão ambientalmente adequado parece ser a chave para balizar as regras de alocação de água.

Assim, a alocação negociada da água, seguida de um processo de outorga coletiva, pode fortalecer a capacidade regulatória do estado e mitigar os efeitos da escassez hídrica, evitando conflitos pelo uso da água nos trechos críticos e prejuízos para a economia do Tocantins.

BIBLIOGRAFIA

- Abers, R., & Jorge, K. D. (2005). Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados?. *Ambiente & sociedade*, 8, 99-124.
- Agência Nacional de Águas (2011). Outorga de direito de uso de recursos hídricos / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: SAG, 2011. 50 p. : il. -- (Cadernos de capacitação em recursos hídricos ; v.1 vol. 6) ISBN 978-85-89629-78-2
- Agência Nacional de Águas (2013) Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013/ Agência Nacional de Águas – ANA.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019. 76p.: il.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento (2017). *Marco Regulatório*. [Marco Regulatório — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico \(ANA\) \(www.gov.br\)](http://www.gov.br)
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020). Mapeamento do arroz irrigado no Brasil/ Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Companhia Nacional de Abastecimento. [Mapeamento do Arroz irrigado no Brasil \(snirh.gov.br\)](http://snirh.gov.br).
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Direito de águas à luz da governança / Pilar Carolina Villar; Maria Luiza Machado Granzieira. – Brasília: ANA, 2020.
- Agrawal, A., & Ribot, J. C. (2000). *Analyzing decentralization: A framework with South Asian and West African environmental cases*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Aith, F. M. A., & Rothbarth, R. (2015). O estatuto jurídico das águas no Brasil. *Estudos Avançados*, 29, 163-177.
- Amaral, R., & Ross, J. L. S. (2006). A classificação taxonômica do relevo como um instrumento de gestão territorial—uma aplicação ao parque estadual do morro do Diabo, município de Teodoro Sampaio (SP). *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia—Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas*. Goiânia (GO).
- Amin, A., Iqbal, J., Asghar, A., & Ribbe, L. (2018). Analysis of current and future water demands in the Upper Indus Basin under IPCC climate and socio-economic scenarios using a hydro-economic WEAP model. *Water*, 10(5), 537.
- Barros, F. G. N., & Amin, M. M. (2007). A geopolítica da água e a bacia Amazônica brasileira.

- Bier, A. A., & Ferraz, S. E. T. (2017). Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 215-226.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL: Folha SC.22 Tocantins: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL. Série: Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, v. 22, 520 p., 1981^a
- Brasil. Código de Águas (1934). Código de Águas : e legislação correlata. – Brasília : Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2003. 234 p. – (Coleção ambiental ; v. 1)
- Carvalho, D. L. O. (2011). Mapeamento geológico e gravimetria da porção central do Graben de Água Bonita, sudoeste de Tocantins e noroeste de Goiás. 2011, 96 f. Dissertação (mestrado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília – UNB.
- Castro, C. N. Gestão das águas: experiências internacional e brasileira. Brasília: IPEA, 86p. (Texto para Discussão n. 1744), 2012.
- Caubet, Christian Guy. A água, a lei, a política... e o meio ambiente? Curitiba: Juruá, 2004.
- Chaves, H. M. L., Rosa, J. W. C., Vadas, R. G., & Oliveira, R. V. (2002). Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(3), 43-51.
- da Cunha, E. C. N., Veiga, A. P., & Kelman, J. (2004). Domínio e competência sobre os recursos hídricos no Brasil.
- De Almeida, C. C. (2003). Outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos. *Revista da Fundação da Escola Superior do Ministério Público do Distrito Federal*, 22, 60.
- De Lima, N. R. R. (2020). Os fundamentos teóricos para a criação da SUDENE: uma análise do pensamento de Celso Furtado e seu conceito de História. *Intellèctus*, 19(2), 129-155.
- de Novaes, L. F., Pruski, F. F., de Queiroz, D. O., del Giudice Rodriguez, R., da Silva, D. D., & Ramos, M. M. (2007). Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. *Rev. Bras. Recur. Hídricos*, 12, 51-61.
- de Oliveira Buriti, C., & Moreira Barbosa, E. (2014). Políticas públicas de recursos hídricos no Brasil: olhares sob uma perspectiva jurídica e histórico-ambiental. *Veredas do Direito*, 11, 225.

- EMBRAPA. (2021). Solos Tropicais. Plintossolos. <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/plintossolos>.
- EMBRAPA. (2023). Cultivo do Feijão. Subirrigação. <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/metodos-de-irrigacao/subirrigacao>.
- Faraco, M. T. L.; Marinho, P. A. C.; Vale, A. G.; Costa, J. S.; Ferreira, A. L.; Valente, C. R.; Lacerda Filho, J. V.; Moreton, L.C.; Camargo, L.C.; Camargo, M.A.; Frasca, A. A.; Ribeiro, P.S.E.; Vasconcelos, A.M.; Oliveira, M.; Oliveira, I.W. B.; Abreu Filho, W.; Gomes, I.P. 2004. Folha SC.22- TOCANTINS. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LÉO NETO, R. MATOS; G. M. M.; VIDOTTI, R.M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-Rom, 2004
- Fard, M. D., & Sarjoughian, H. S. (2021). A RESTful framework design for componentizing the water evaluation and planning (WEAP) system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 106, 102199.
- Ferreira, G. L. B. V., & Ferreira, N. B. V. (2006). Fundamentos da política nacional de recursos hídricos. *XIII SIMPEP–Bauru, SP, Brasil*, 6.
- FREITAS, V. P. (Org). Águas: Aspectos Jurídicos e Ambientais. Curitiba: Juruá, 2000. 263p.
- GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil./Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Brasília: MMA; ANA, 2007
- Granziera, M.L.M. Direito de Águas: Disciplina Jurídica das Águas Doces. São Paulo: Atlas, 2001. 245p.
- 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.
- HENKES, S. L. (2003). Política nacional de recursos hídricos e sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. *Jus Navegandi*, (64).
- IAC. Instituto de Atenção às Cidades. (2017). “Relatório Fase B”. Universidade Federal do Tocantins.

- IAC. Instituto de Atenção às Cidades. (2018). “Gestão de Alto Nível. Plano do Biênio 2018 -2019”. Universidade Federal do Tocantins.
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2021). PORTARIA IGAM Nº 30, DE 22 DE AGOSTO DE 2007. Institui a Campanha de Regularização na Gestão de Recursos Hídricos – Água: Faça o uso legal!, e dá outras providências. [Microsoft Word - Portaria030_correta.doc \(igam.mg.gov.br\)](#)
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2021a). *Comissão Gestora Local – CGL*. [Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM - Comissão Gestora Local - CGL](#)
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2021b). *Outorga*. [Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM - Outorga](#).
- Kirilov, L., & Bournaski, E. (2019). Functionalities of WEAP software to water balance modelling. In *BOOK OF PROCEEDINGS* (p. 73).
- Lacerda Filho, J. V.; Valente, C. R.; Bahia, R.B.C.; Lopes, R.C.; Romanini, S. J.; Oliveira, I. W. B.; Oliveira, C. C.; Sachs, L. L. B.; Silva, V. A.; Batista, I. H.; Folha SD. 22-GOIÁS. In: Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J. H.; Santos, J. O. S.; Abram, M. B.; Léo Neto, R.; Matos, G. M. M.; Vidotti, R. M.; Ramos, M. A. B.; Jesus, J. D. A. de. (eds.). (2004) Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistemas de Informações Geográficas-SIG. Programa Geologia do Brasil, CPRM.
- Lamarão, S. T. de N. Capital privado, poder público e espaço urbano: a disputa pela implantação dos serviços de energia elétrica na cidade do Rio de Janeiro (1905- 1915). **Revista Estudos Históricos**, v. 1, n. 29, p. 75-96, 2002.
- Lima, José Luiz. *Políticas de governo e desenvolvimento do setor de energia elétrica: do Código de Águas à crise dos anos 80 (1934-1984)*. Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade, 1995.
- Lima, W. S. Junior. G. P. H. (2003) Origem, evolução e classificação das bacias sedimentares. In: *Bacias sedimentares brasileiras: Origem, evolução e classificação*. Phoenix. Ano 5, n. 49, 2003. http://www.phoenix.org.br/Phoenix49_Jan03.html.
- Machado, L. A., & Assis, W. L. (2018). Comparação entre métodos de preenchimento de falhas em séries de dados meteorológicos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG). *Revista Geografias*, 26(1), 73-90.
- Machado, P. A. L. (2002). Recursos hídricos: direito brasileiro e internacional. In *Recursos hídricos: direito brasileiro e internacional* (pp. 216-216).

- Machado, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 21. ed. São Paulo: Malheiros, 2013.
- Maciel JR. Paulo. *Zoneamento das Águas - Um instrumento de gestão dos recursos hídricos*. Belo Horizonte, 2000.
- Magalhães Filho, L. N.L.; Rezende, C. S. A.; Oliveira, R. M.; Ambrósio, L.D.; Vergara, F. E. “Caracterização dos Usuários de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso-TO” in *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Brazil, 12.2, 28 08 2017.<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=1284>.
- Manual técnico de geomorfologia / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598 ; n. 5) Acompanha um CD-ROM, em bolso. Inclui bibliografia a. ISBN 978-85-240-4110-5.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>.
- Marques, P. E., & Costa Teixeira, E. (2019). Sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura irrigada em nível de microbacia hidrográfica. *Ribagua*, 6(1), 63-77.
- Martins, A. K. E.; Silva, E.; Schaefer, C. E. G. R.; Soares, V. P. 2005. Mapeamento de unidades geomorfológicas na Fazenda Lago Verde, planície do Araguaia, município de Lagoa da Confusão, estado do Tocantins. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1831-1838.
- Mello, Celso Antônio Bandeira. Curso de Direito Administrativo. Editora Malheiros: São Paulo, 2002. Pg. 768.
- Milaré, É. (2011). Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco. rev., atual. e reform. *São Paulo: Editora Revista dos Tribunais*.
- 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.
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-1785.
- Moura, A.M.M. *Governança Ambiental no Brasil: Instituições, Atores e Políticas Públicas*; IPEA: Brasília, Brazil, 2016.

- Muñoz, R. H. (Org). Interfaces da Gestão dos Recursos Hídricos: Desafios da Lei das Águas. MMA/SRH.2000.421p.
- Murtha, N. A.; Castro, J. E.; Heller, L. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 18, n. 3, p. 193-210, 2015
- Notisso, P. F. (2020). Aplicação do modelo WEAP na avaliação de alocação de água do reservatório dos Pequenos Libombos, Moçambique.
- Parcio, J. A., & Caramello, N. (2021). Proteção jurídico-normativa da água. *Nature and Conservation*, 14(1), 169-180.
- Paula, D. A. D. (2015). O debate parlamentar na criação da Comissão do Plano de Aproveitamento da Bacia do São Francisco (1946-1948): significados da atuação de Manoel Novaes. *XXVIII Simpósio Nacional de História*.
- Pereira, D. S. P., & Formiga-Johnsson, R. M. (2005). Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 2(1), 53-72
- Pompeu, C. T.. *Direito de águas no Brasil*. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 2006.
- Rebouças, A. C. (2003). Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. *Bahia análise & dados*, 13(esp.), 341-345.
- Reis, P., Fontes, A., & Medeiros, Y. (2020). Definição da vazão de contribuição como estratégia de gestão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17(2020).
- Reis, P., Fontes, A., & Medeiros, Y. (2020). Definição da vazão de contribuição como estratégia de gestão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17(2020).
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. (2008). As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. Brasília, Embrapa Cerrados. p. 151-212.
- Rosa, A., Guarda, V. 2020. Gestão de recursos hídricos no Brasil: um histórico. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, 9, 2019.
- Santos, F. A. DOS. *Domando as águas : salubridade e ocupação do espaço na cidade de São Paulo, 1875-1930*. [s.l.] Instituto de Economia, UNICAMP, 2006.

- Secretaria de Agricultura e Pecuária. (2021). *Arroz irrigado será tema de dia de campo em Lagoa da Confusão*. [Arroz irrigado será tema de dia de campo em Lagoa da Confusão \(www.to.gov.br\)](http://www.to.gov.br)
- Secretaria de Planejamento e Orçamento (Seplan). Gerência de Indicadores Econômicos e Sociais (GIES). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Diagnóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Palmas: Seplan/GIES, 2017. vol. I de II 522 p., Ilust. Série TOCANTINS - Zoneamento Ecológico-Econômico / Diagnóstico Ecológico-Econômico - Meio Natural - v. 3/9.
- Secretaria de Planejamento e Orçamento. (2022). *Geoportal SEPLAN*. https://geoportal.to.gov.br/gvsigonline/core/load_public_project/ZoneamentoEcoligicoEconomico/
- Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Tocantins. (2007). Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. Relatório Síntese. <https://central3.to.gov.br/arquivo/269430/>
- Secretaria do Planejamento e Orçamento.(2021). Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DIGIT). Gerência de Informações Socioeconômicas (GEFIS). Estado do Tocantins – Tocantins em Números - Evolução da Pecuária no Tocantins - 1989 a 2021. Palmas: SEPLANGEFINS, outubro/2022. 50p
- Secretaria dos Recursos Hídricos.(2017). Execução de Serviços de Análise da Integração dos instrumentos de Gestão com Foco na Outorga, Cobrança e Fiscalização dos Recursos Hídricos no Ceará. Relatório 20. Outorga Coletiva de Uso da Água.
- SEI. Stockholm Environment Institute. (2015). “User Guide”. Water Evaluation and Planning System. 400p.
- Serviço Geológico do Brasil. (2022). *RADAM-D*. <https://www.sgb.gov.br/publique/Geologia/Sensoriamento-Remoto-e-Geofisica/RADAM-D-628.html>
- Sieber, Jack. WEAP water evaluation and planning system. 2006.
- Silva A. J. P.; Lopes, R. C.; Vasconcelos, A. M.; Bahia, R. B. C. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI, L. A., Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil (texto, mapas e SIG). Brasília, Serviço Geológico do Brasil – CPRM/MME, 2003. p. 55-85.

- Silva, J. M., Pruski, F. F., Rodrigues, L. N., & Cecílio, R. A. (2009). Modelo para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 1. Desenvolvimento e análise de sensibilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 4(1), 78-84.
- Silva, L. M. C., & Monteiro, R. A. (2004). Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens.
- Spolidorio, P. C. M. A. (2017). Alocação negociada de água como uma estratégia de Regulação Responsiva. *Revista de Direito Setorial e Regulatório*, v. 3, n. 1, p. 183-198.
- Stockholm Environment Institute. (2022). WEAP Tutorial- 08.1 .3 Hydrology, Soil Moisture Method in WEAP [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=vebqcUvPp3c&t=636s>.
- Teklu, S., Soliman, A. H., & El-Zawahry, A. (2020). Testing the WEAP Hydrologic Model for Awash Basin, Ethiopia “Soil Moisture Module with Watershed Demand Approach”. *Civil Environ. Res*, 12, 59-74.
- TOCANTINS. (2012). *Marcelo Miranda dará início à revitalização do projeto Rio Formoso*. <https://www.to.gov.br/secom/marcelo-miranda-dara-inicio-a-revitalizacao-do-projeto-rio-formoso/7bebbe8khn6s>
- Tucci, C. E. (2001). Hidrologia: ciência e aplicação. ; 2. reimpr. *Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH*.
- Valente, C. R. Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da Bacia do Rio Araguaia, Brasil Central. 2007. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), CIAMB, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
- Ventura, T. M., Santana, L. L. R., Martins, C. A., & de Figueiredo, J. M. (2016). Análise da aplicabilidade de métodos estatísticos para preenchimento de falhas em dados meteorológicos (Analysis methods of application for statistical data in meteorology). *Revista Brasileira de Climatologia*, 19.
- Vergara, F. E., Reis, F. C., Magalhães Filho, L. N. L., & Rezende, C. S. A. (2013). Proposta de vazão de referência Q 90 para o Rio Formoso na Bacia do Araguaia. *Engenharia Ambiental*, 10(1), 84-102.
- VIDAL, F. C. B. O Nordeste do Brasil – atualidade de uma velha questão: vicissitudes da teoria do subdesenvolvimento regional no contexto do capitalismo contemporâneo. Salvador: UFBA, 2001. 327p. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

Villela, S. M.; Mattos, A. (1975). Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 17,18,245 p.

WEAP. Water Evaluation and and Planning, 2022. Disponível em: <<https://www.weap21.org/>>. Acesso em: 25 junho 2022.

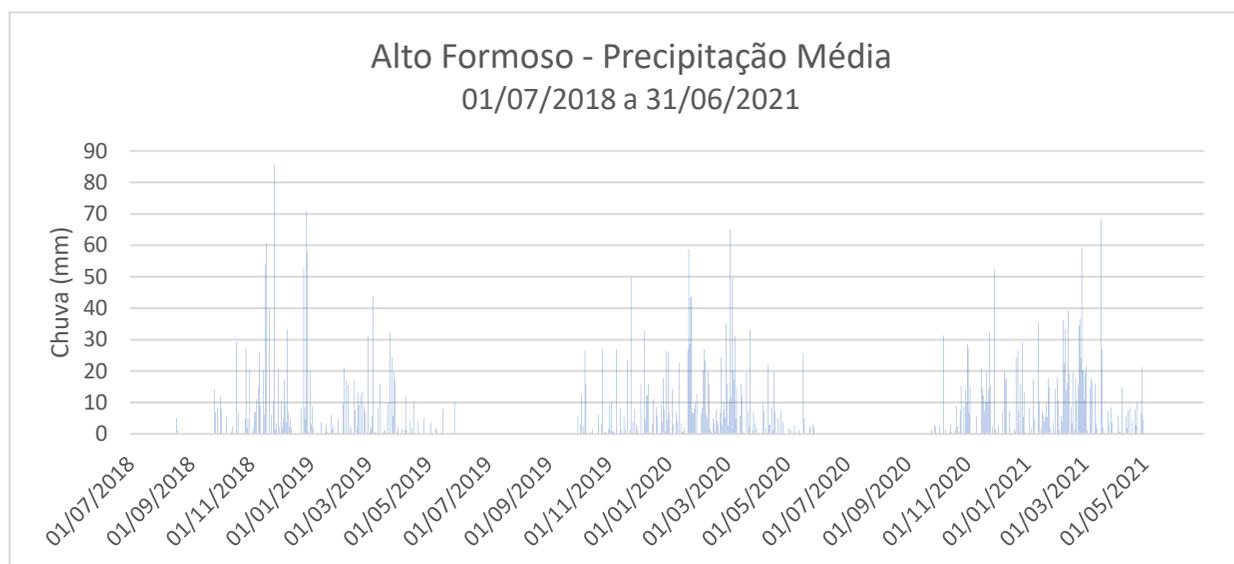
Wilks, D. S. (2006) Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, 2ª Edição, Elsevier Inc.

Zehtabian, E., Masoudi, R., Yazdandoost, F., Sedghi-Asl, M., & Loáiciga, H. A. (2023). Investigation of water allocation using integrated water resource management approaches in the Zayandehroud River basin, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136339.

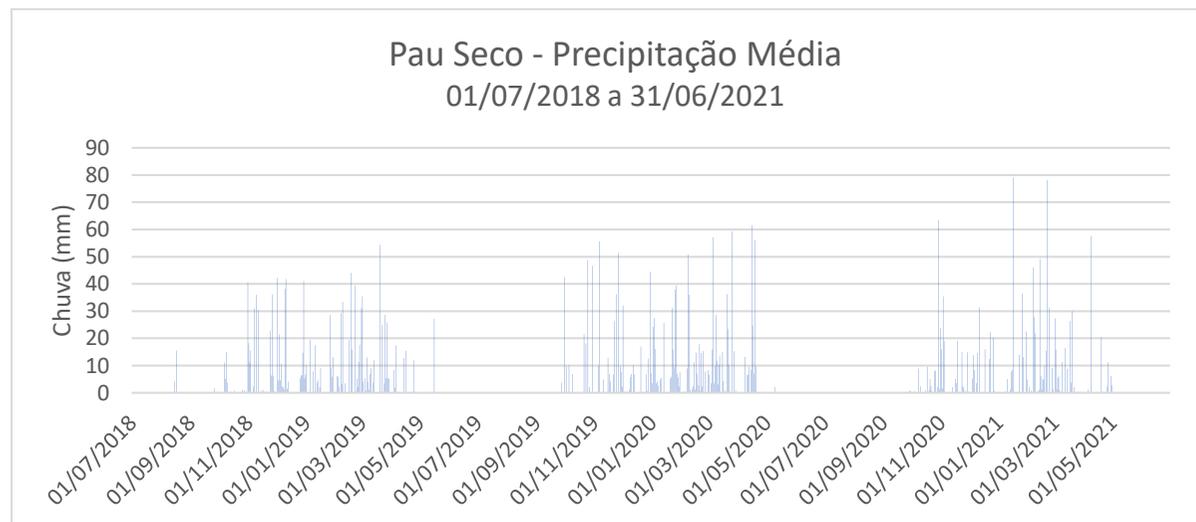
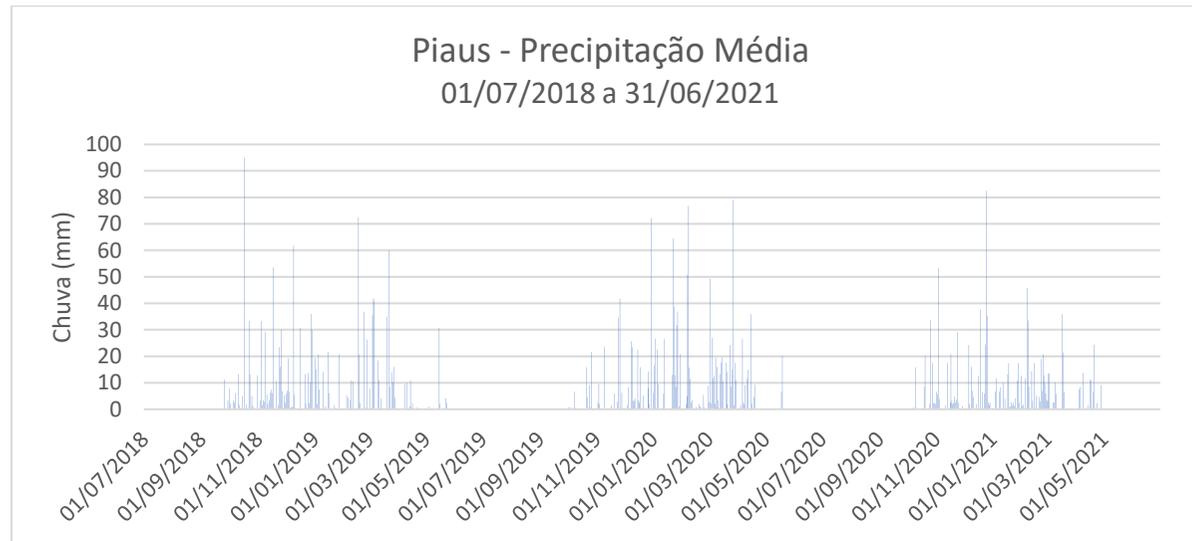
APÊNDICES

APÊNDICE A – PRECIPITAÇÃO MÉDIA DIÁRIA NAS SUB-BACIAS DA BHRF

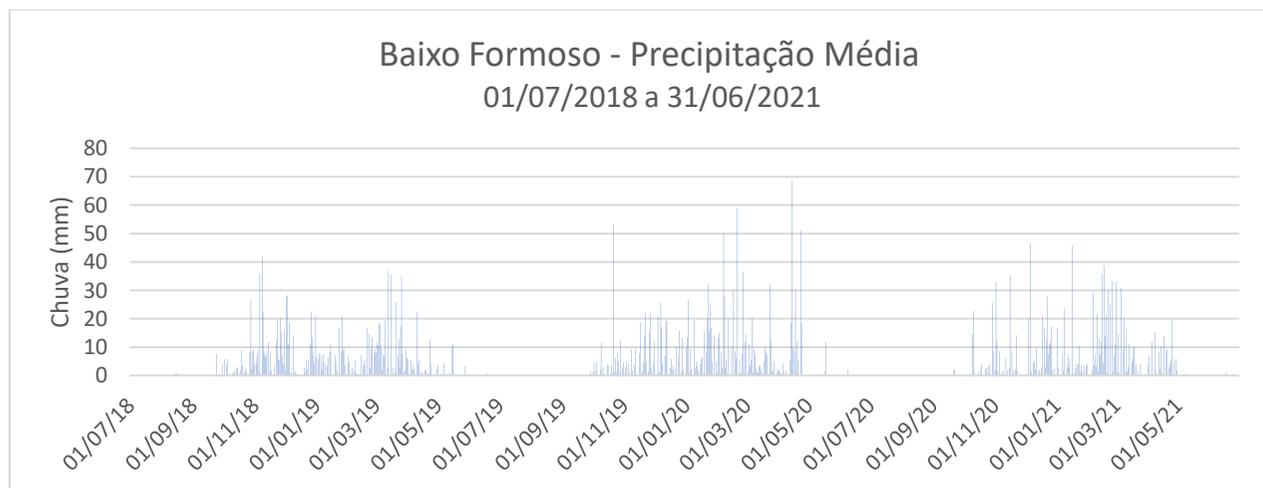
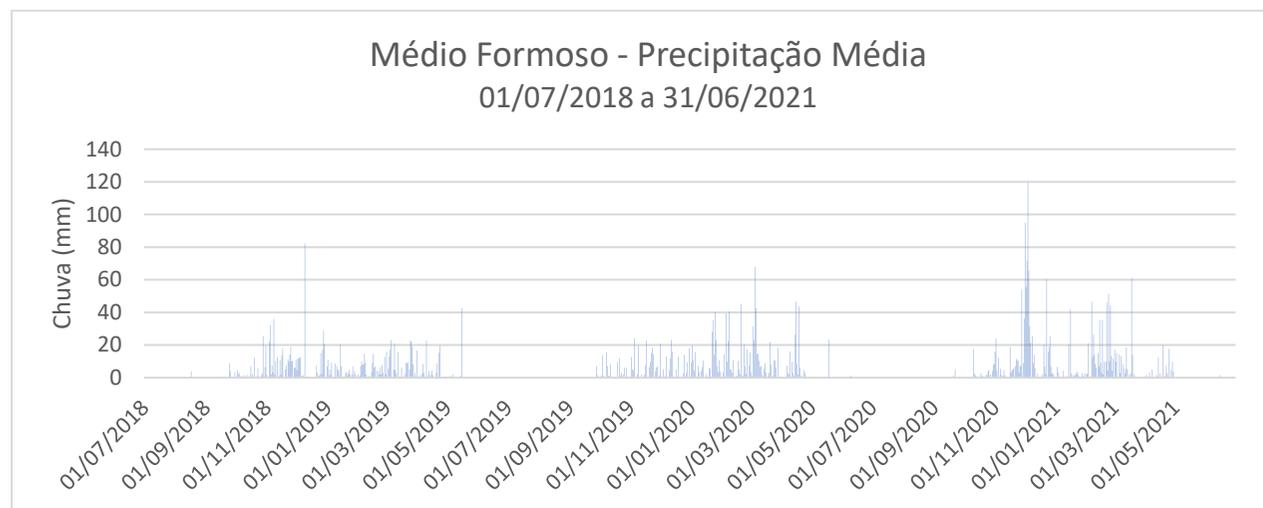
A.1 Precipitação Média na sub-bacia do Alto Formoso para o período de 1/7/2018 a 31/6/2021.



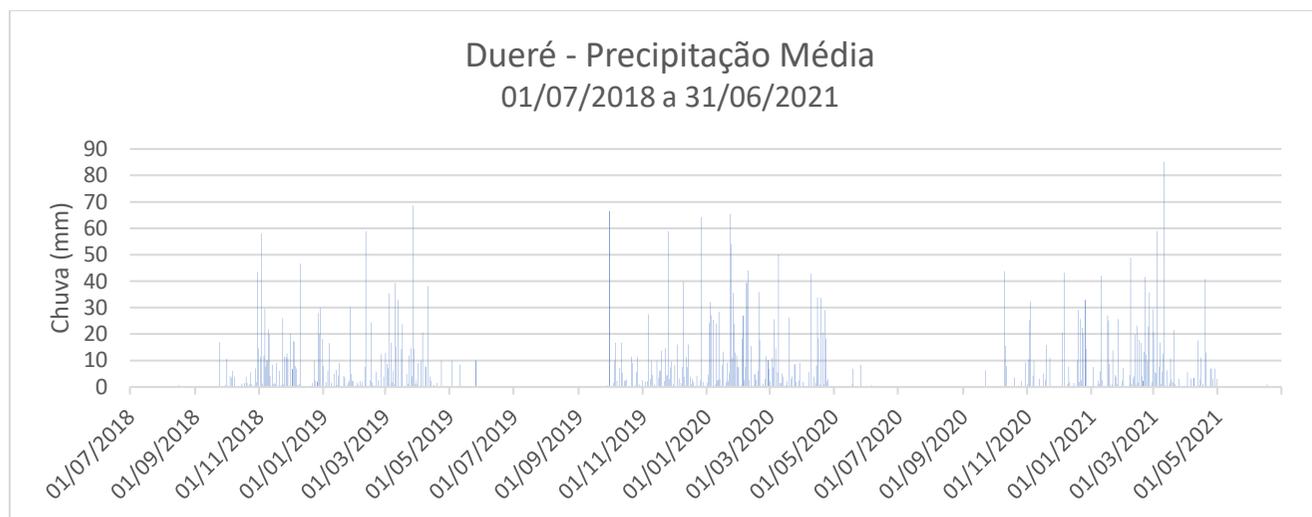
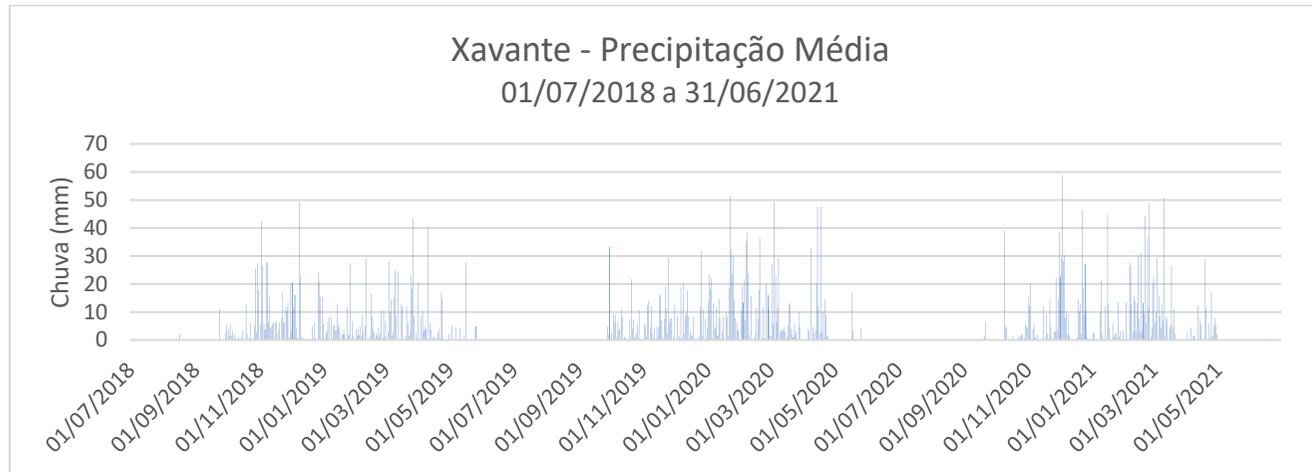
A.2 Precipitação Média nas sub-bacias de Piaus e Pau Seco para o período de 1/7/2018 a 31/6/2021.



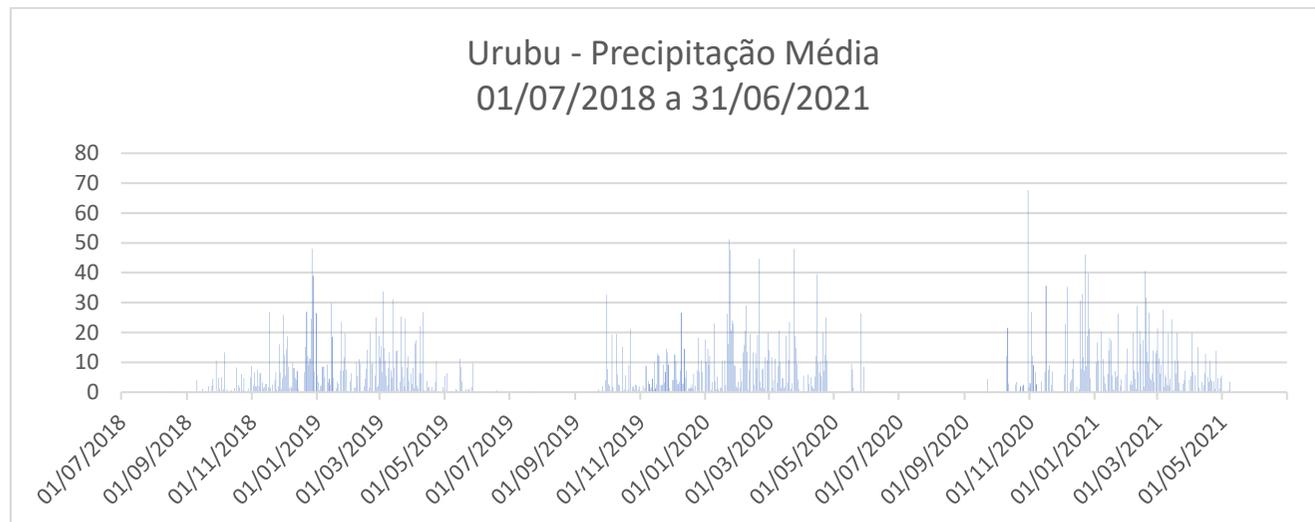
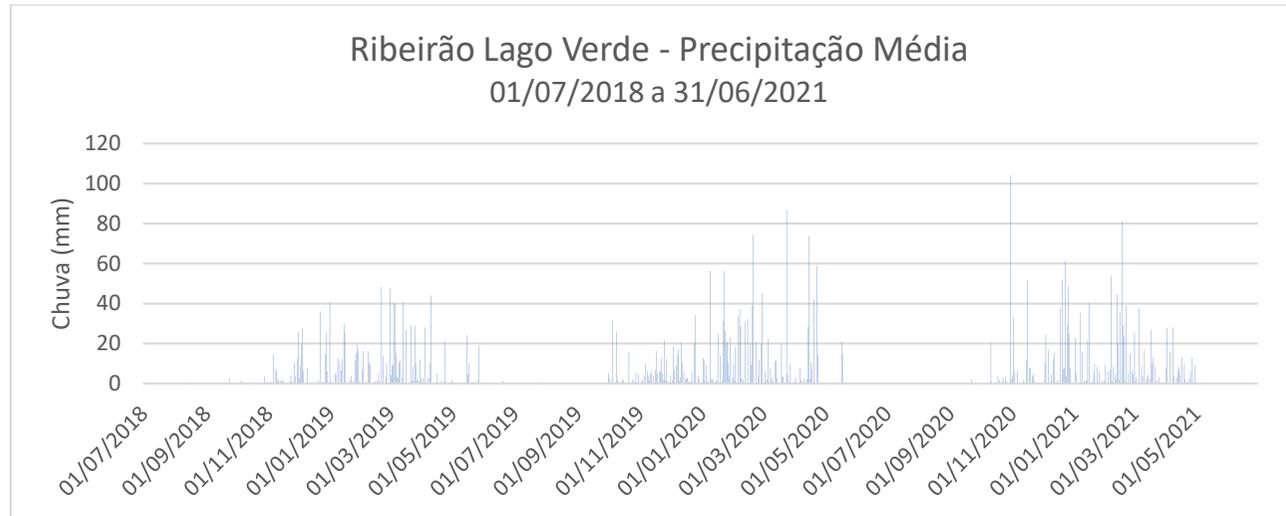
A.3 Precipitação Média nas sub-bacias Médio Formoso e Baixo Formoso para o período de 1/7/2018 a 31/6/2021.



A.4 Precipitação Média nas sub-bacias Xavante e Dueré para o período de 1/7/2018 a 31/6/2021.



A.4 Precipitação Média nas sub-bacias Xavante e Dueré para o período de 1/7/2018 a 31/6/2021.



APÉNDICE B – DEMANDA HÍDRICA DAS BOMBAS DE CAPTAÇÃO

B.1 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Médio Formoso para o mês de julho do ano de 2018.

	1-jul	2-jul	3-jul	4-jul	5-jul	6-jul	7-jul	8-jul	9-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul	16-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul
FOR001																															
FOR002																															
FOR003	111364	95494	96241	98618	94180	97266	52084	64433	97210	93477	98122	80137	16801	79149	0	15883	76684	0	14951	78187	0	7925.2	74305	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR004	114340	100895	99004	100005	96195	99184	118573	118923	97483	97901	101057	99773	97771	97914	98471	99705	93046	95093	100929	95056	97175	92910	76370	15580	97479	68186	87319	99819	100268	82944	13448
FOR005	86563	21664	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR006	0	0	20117	96281	96681	66993	0	0	0	11801	95296	94245	35953	0	0	0	0	0	0	4196.1	52641	0	0	52168	0	0	0	0	0	0	0
FOR007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR009	0	17380	78841	75871	79479	55843	0	0	91901	145554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21576	149170	0	72631	0	21932	149272	0	21152	148628	0	19711
FOR010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR012	41393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20412	113158	115130	115282	113967	59960	113241	69882	0	0	0	38853
FOR013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR058																															
FOR059																															

B..2 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Médio Formoso para o mês de julho do ano de 2019.

	1-jul	2-jul	3-jul	4-jul	5-jul	6-jul	7-jul	8-jul	9-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul	16-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul
FOR001	[Yellow bar]																														
FOR002	[Yellow bar]																														
FOR003	83945	14167	99233	86123	14324	63555	0	14221	80779	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16614	82867	0	0	0	0	0	5592.5	0	0	0
FOR004	0	12526	81484	0	12881	62408	0	13722	95801	83682	18023	82942	0	8958.1	82166	0	12560	82918	0	379.43	0	0	0	0	0	5903	0	11.128	0	3320.8	0
FOR005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR006	0	0	0	0	0	13959	84225	738.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR008	132575	126319	126350	128423	123954	124122	130512	129708	133448	132364	128169	118391	124981	129574	118227	127372	125953	119222	122113	129564	131328	133042	131704	131885	130946	111775	126399	121757	124792	73534	17078
FOR009	[Yellow bar]																														
FOR010	57889	0	14053	147939	0	0	0	0	15118	159148	0	0	0	0	20291	161416	0	0	0	0	23959	133731	0	0	0	0	28074	153362	0	0	0
FOR011	0	17952	17360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR012	40272	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50674	0	0	0	0	0
FOR013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR014	12926	9591.7	9508.3	16118	22112	3589.7	0	17972	19136	2201	6954.9	12263	4734.2	572.66	1326.4	1406.2	441.57	0	1540.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOR058	[Yellow bar]																														
FOR059	[Yellow bar]																														

B.4 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Baixo Formoso para o mês de julho dos anos de 2018.



B.5 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Baixo Formoso para o mês de julho dos anos de 2019.

	1-jul	2-jul	3-jul	4-jul	5-jul	6-jul	7-jul	8-jul	9-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul	16-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul	
FOR015																																
FOR016																																
FOR018																																
FOR019																																
FOR020																																
FOR021																																
FOR022																																
FOR023																																
FOR024																																
FOR025																																
FOR026																																
FOR027																																
FOR054																																
FOR055																																
FOR056																																
FOR057																																
FOR060																																

B.6 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Baixo Formoso para o mês de julho dos anos de 2020.

	1-jul	2-jul	3-jul	4-jul	5-jul	6-jul	7-jul	8-jul	9-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul	16-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul
FOR015																															
FOR016																															
FOR018	13925.4	44187.6	33638.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11659.2
FOR019	0	10656.7	10000.6	10207.7	68778	74807.9	60424.5	26567	26648.3	25932.6	55110.3	72325.3	52096.5	55755.5	58878.8	59425.1	58204.6	58293.7	64886.4	56965.6	57896.2	55958	56544.4	18446	33424.5	28999.6	19372.8	19643.2	52284.1	50301.8	39119.3
FOR020																															
FOR021																															
FOR022																															
FOR023	-	-	-	34311	88328.7	59922.5	87269.9	84092.6	61921.2	77865.5	83832.6	84374.2	84201	82867.2	82344.3	82186.7	81680.6	81387.8	80859	81260.9	80953.1	75793.5	65874.2	44207.6	80167.9	79918.5	79786.2	77023.9	47666.2	0	-
FOR024	-	-	-	10769.5	19825.8	22836.9	22747.2	20747.6	20880.8	20802.8	21892.7	15932.7	8109.72	20534.8	26783.7	21536.7	19945	19390.8	22162.5	20948	14490.5	5075.72	18276.9	31658.1	36072.1	21465.8	18898.4	37078.2	19151	7296.55	-
FOR025																															
FOR026																															
FOR027																															
FOR054																															
FOR055																															
FOR056																															
FOR057																															
FOR060																															

B.7 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Foz Formoso para o mês de julho dos anos de 2018.

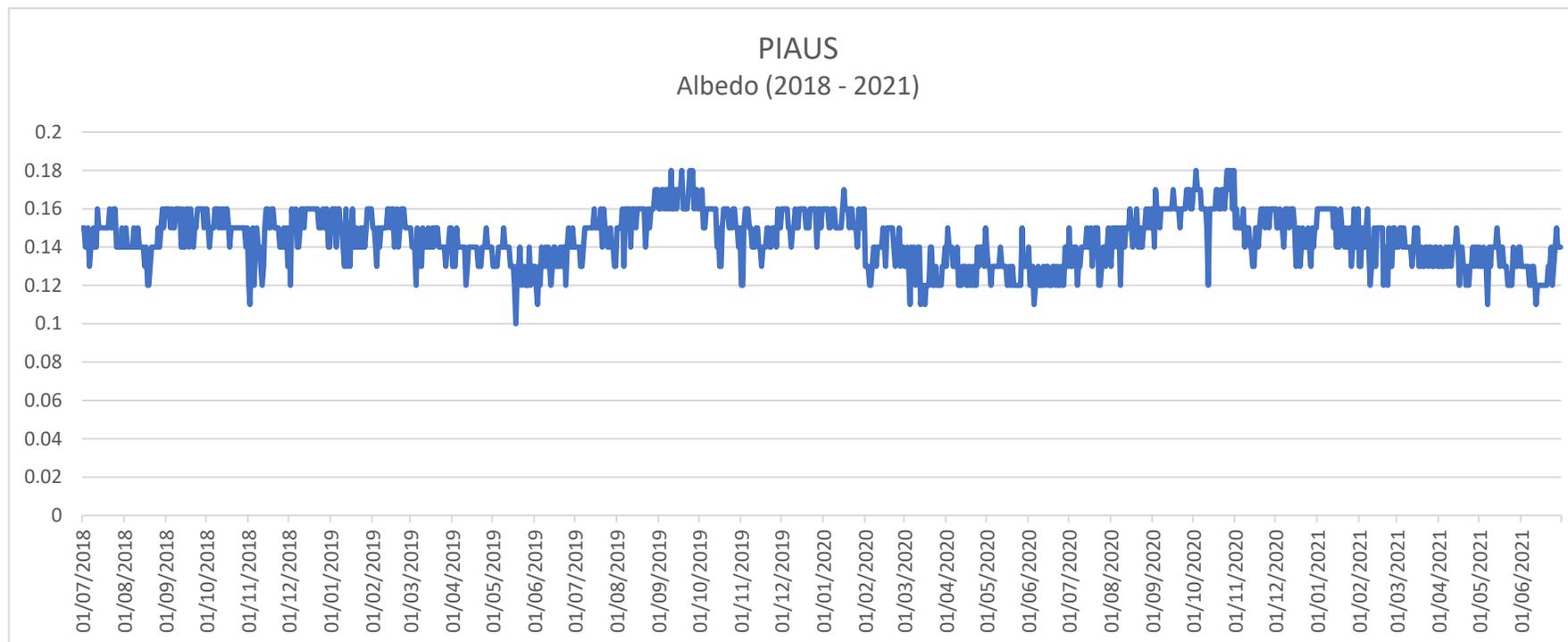
URU 001																																					
URU 002															0	7027	75911	74294	54020	62709	11169	0	7983	74250	63393	0	0	0	0								
URU 003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
URU 004	89000	78696	80482	48687	40415	41659	93278	92857	36740	82155	70800	0	0	0	0	11308	87742	73671	0	0	0	0	10152	78807	66582	0	0	0	9119	66159							
URU 005	46513	45201	0	0	0	0	82703	1E+05	70708	0	0	2108	7954	1E+05	1E+05	0	0	0	0	13267	1E+05	1E+05	66079	15162	21668	29752	19710	1E+05	1E+05	24427	0						
URU 006															42055	36740	0	0	0	0	6168	49239	32249	0	0	0	0										
URU 007															0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
URU 008	4616	4139	7193	5497	20656	25710	46082	45849	39005	39117	32546	0	0	0	0	26225	33954	0	4200	34578	45393	26638	38706	33317	0	0	5675	45135	38759	33399							
URU 009																																					
URU 010	77624	34925	12185	52708	95405	88101	1E+05	1E+05	26030	0	0	0	15051	1E+05	96011	0	64.61	0	0	13878	1E+05	1E+05	0	0	0	0	13659	1E+05	94923	0	0						
URU 011	0	0	16667	20668	1E+05	0	0	0	0	0	10547	1E+05	86777	0	0	0	0	0	15795	1E+05	89267	0	0	0	0	13595	1E+05	89385	0	0	0						
URU 012	78770	58365	0	267.4	8561	67972	47015	77656	58097	0	6815	51859	56265	0	0	0	0	10016	66980	57732	0	0	0	0	9157	74420	58729	0	0	0	0						
URUB014	1E+05	96262	0	52427	1E+05	1E+05	1E+05	45258	65610	13101	92937	0	0	0	0	13775	1E+05	89866	0	0	45706	1E+05	64637	76428	45122	0	0	0	0	2579	44389						
URUB015	64651	60396	48678	17581	41836	58707	71808	58926	0	0	8577	11389	23409	70990	70696	20689	9911	5533	0	8101	64762	69150	15177	0	0	0	0	5116	53053	56208	49608						
URUB016	36128	34330	63830	24156	0	11403	73914	50606	20031	0	11560	63657	51110	0	0	0	0	8815	26867	63165	18616	0	0	0	0	41275	62335	19502	0	0	0						
URUB017	72088	10745	69631	30942	0	9038	81489	0	0	0	15889	85055	69281	0	0	0	0	11666	36611	74916	25178	0	0	0	10251	71845	66919	88961	77277	17140	0						
URUB018	0	0	11356	36407	0	0	71460	0	0	48304	0	0	0	0	0	14457	56038	48891	0	0	0	0	8232	70678	40247	0	0	6815	81463	0	0						
URUB019																																					
URUB020															6348	24174	0	0	10641	86406	74838	0	0	0	0	10530	79756	81422	55015	0	0	0	10400	73103	63464	0	0
URUB021															90837	68298	0	0	0	0	13790	99151	85076	0	0	0	0										
URUB022	78271	49350	51083	34391	65508	65607	75886	74780	48964	21369	0	0	0	0	0	7704	63248	53978	0	8045	66825	71638	52735	0	0	0	7567	68059	67898	15925	0						
URUB023	35013	41102	34483	44533	45566	44941	67553	46710	22259	0	12407	58144	66894	77076	67031	0	0	9277	59205	64598	75156	65159	0	0	8972	65298	64646	60558	42983	0	0						
URUB024																																					
URUB025																																					
URUB026	0	0	22110	28953	0	0	0	33593	34991	46222	31377	0	0	0	0	6845	61725	53332	0	0	30926	53964	39084	59674	50155	36338	58038	21756	0	7923	53051						

B.10 Demanda hídrica (m³) das bombas de captação instaladas no Foz Formoso para o mês de julho dos anos de 2018

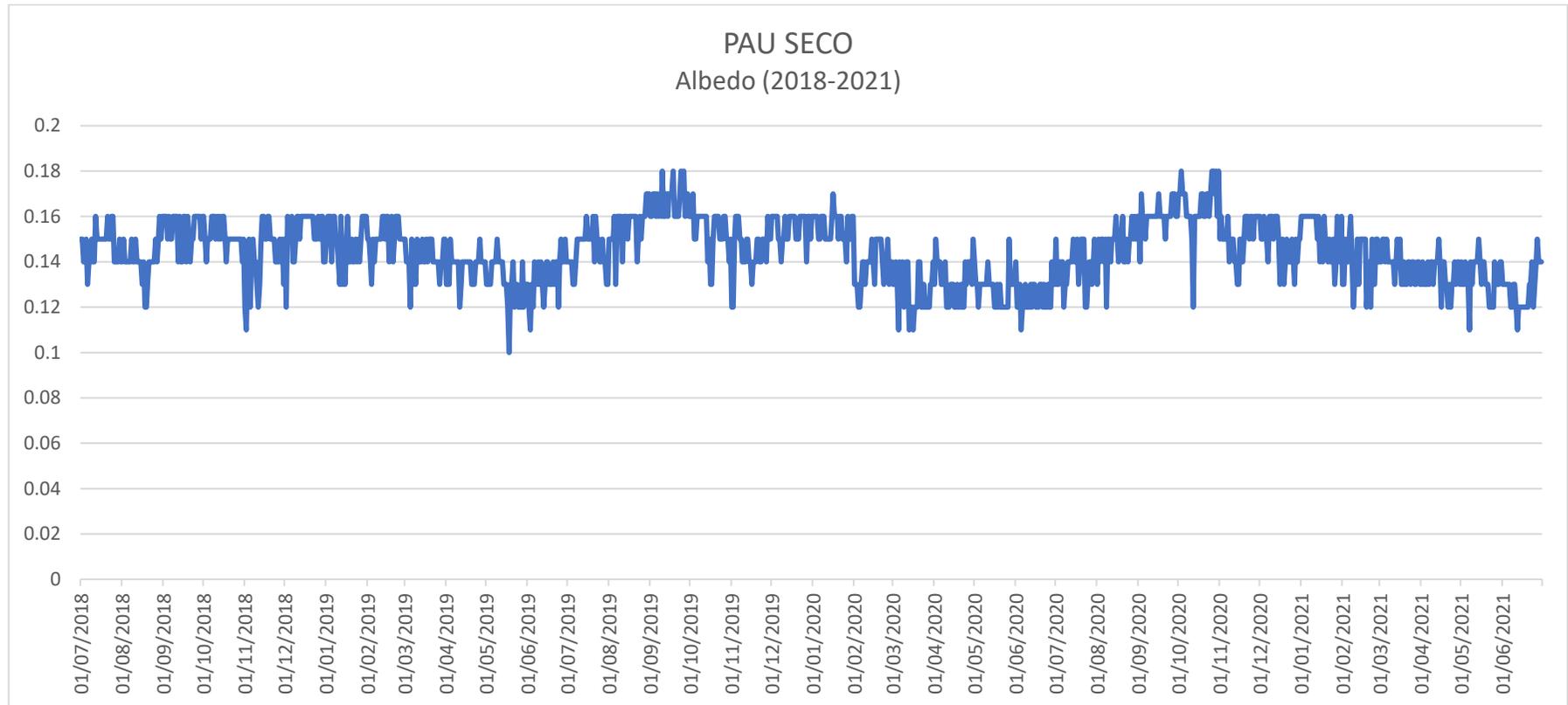
FOR028	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	18585	1E+05	1E+05	0	0	347.8	0	18550	1E+05	1E+05	0	0	0	0	20540	1E+05	1E+05	0	0	0	0		
FOR029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
FOR030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
FOR031	39848	0	6273	24726	0	0	39315	20744	5709	27838	6384	41005	22039	0	0	0	0	5835	41703	0	0	0	0	0	26807	40455	0	0	0	0			
FOR032	57083	54375	8227	52959	0	8240	73784	73856	59557	36124	8439	61468	43871	0	0	0	0	7206	60617	53914	0	0	0	0	7378	60633	52703	0	0	0	0		
FOR033	0	0	60.95	55271	70445	74277	81692	81071	45212	0	0	0	0	20.81	0	0	0	0	0	0	0.512	6348	0	1567	0	0	0	21966	1.555	30710	0		
FOR034	1E+05	71637	0	0	178.7	0	0	0	0	40.47	3944	0	13173	1E+05	94362	0	0	0	0	12905	1E+05	94400	0	0	0	0	0	12595	1E+05	1E+05	58205	11660	
FOR035	84402	71941	72890	72351	72621	71722	84060	83713	72275	33562	27.63	0.481	10451	82832	72860	0	0	0	0	10370	82483	71994	0	0	0	0	0	9992	80343	80186	43869	0	
FOR037	79990	69450	40054	0	0	0	0	0	10566	0	15163	0	0	0	0	9477	69242	59359	0	0	9549	59006	9037	69770	68276	69066	68140	80002	68070	61511	68285		
FOR038	65290	52491	46315	38065	40149	64127	60060	66065	51689	0	14830	0	0	0	0	0	29042	55368	0	0	9340	65695	8676	62178	58766	60981	63820	73899	74530	48691	60707		
FOR039	[Yellow background]																																
FOR040	[Yellow background]																																
FOR041	[Yellow background]																																
FOR042	[Yellow background]																																
FOR043	[Yellow background]																																
FOR044	[Yellow background]																																
FOR045	[Pink background]																																
FOR046	[Pink background]																																
FOR047	[Pink background]																																
FOR048	[Pink background]																																
FOR049	[Yellow background]																																
FOR050	[Yellow background]																																
FOR051	[Yellow background]																																
FOR052	[Yellow background]																																
FOR053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3683	21610	21643	8514	0	3633	13866	3513	21244
	1-jul	2-jul	3-jul	4-jul	5-jul	6-jul	7-jul	8-jul	9-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul	16-jul	17-jul	18-jul	19-jul	20-jul	21-jul	22-jul	23-jul	24-jul	25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul	30-jul	31-jul		

APÊNDICE C – ALBEDO DIÁRIO PARA AS SUB-BACIAS DO RIO FORMOSO.

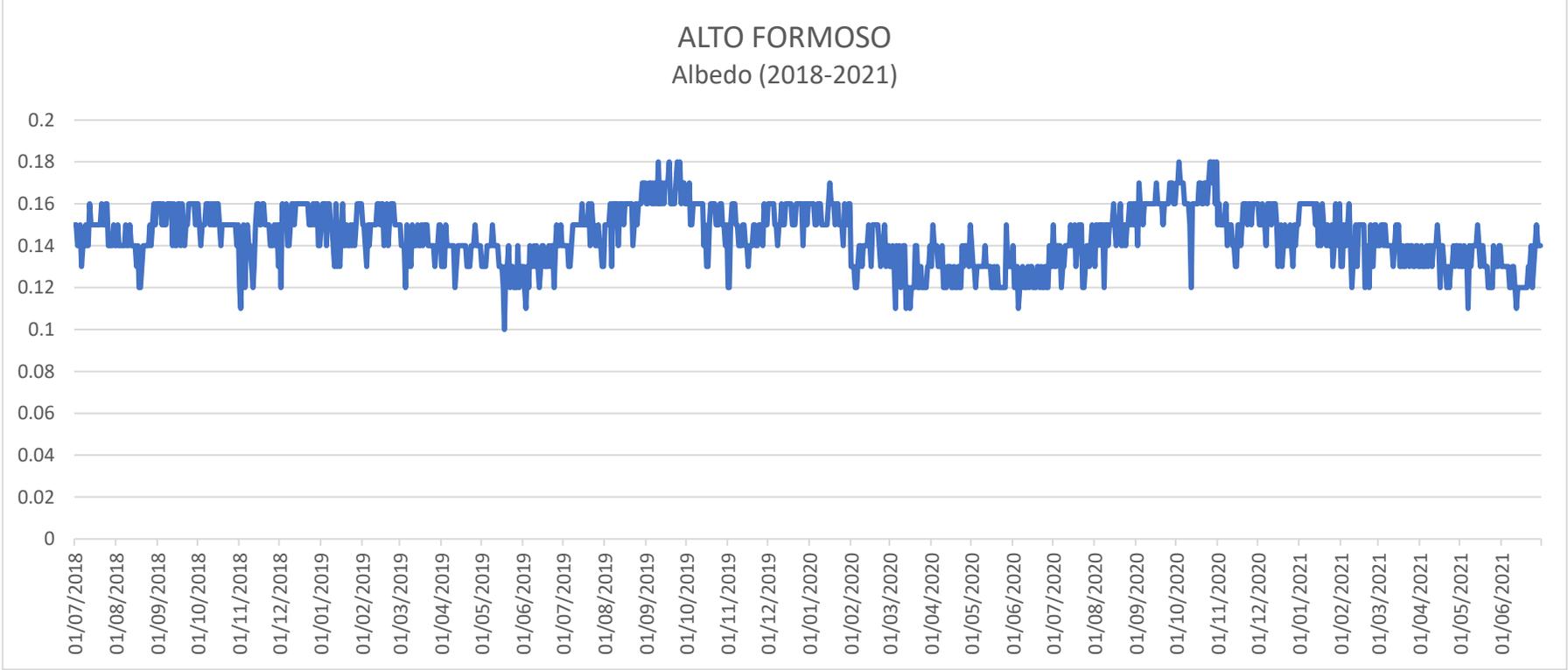
C.1 Albedo da sub-bacia do rio Piaus para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



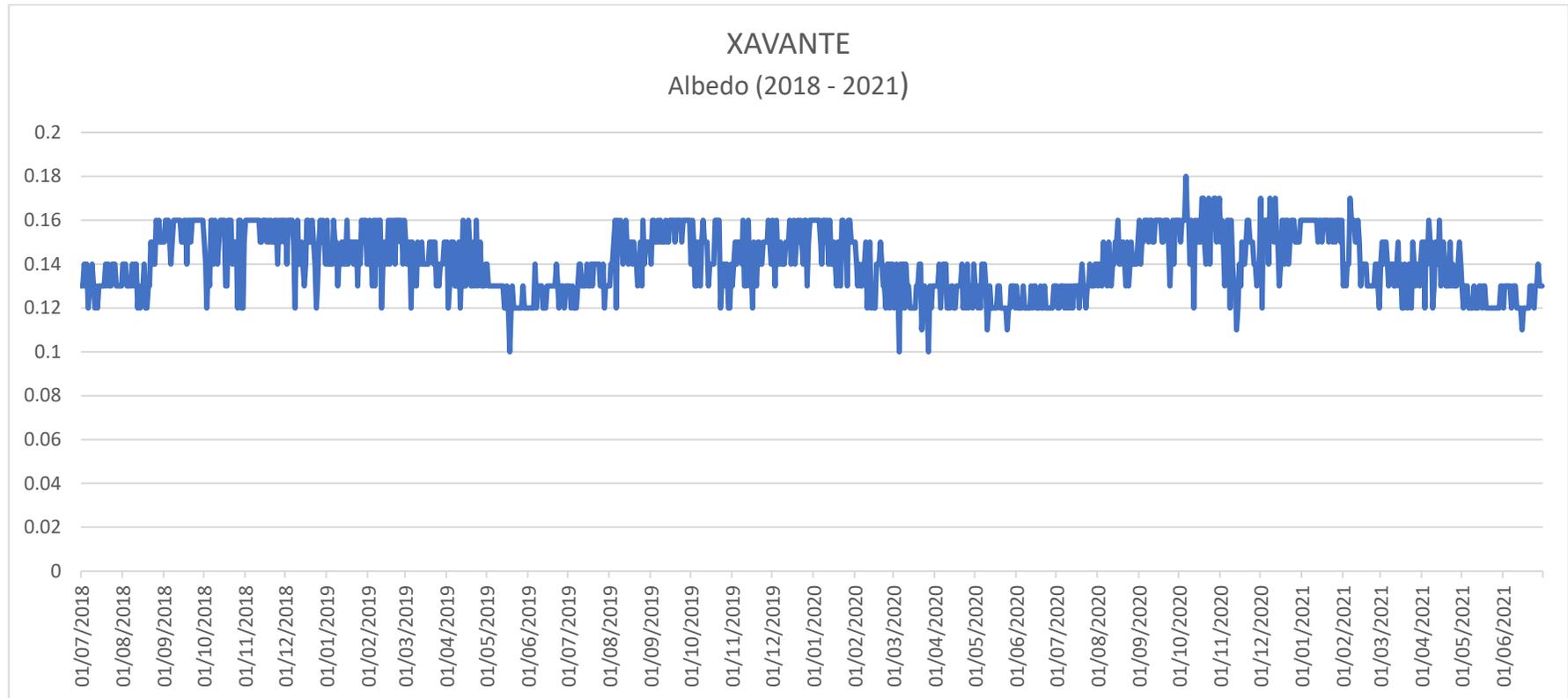
C.2 Albedo da sub-bacia do rio Pau Seco para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



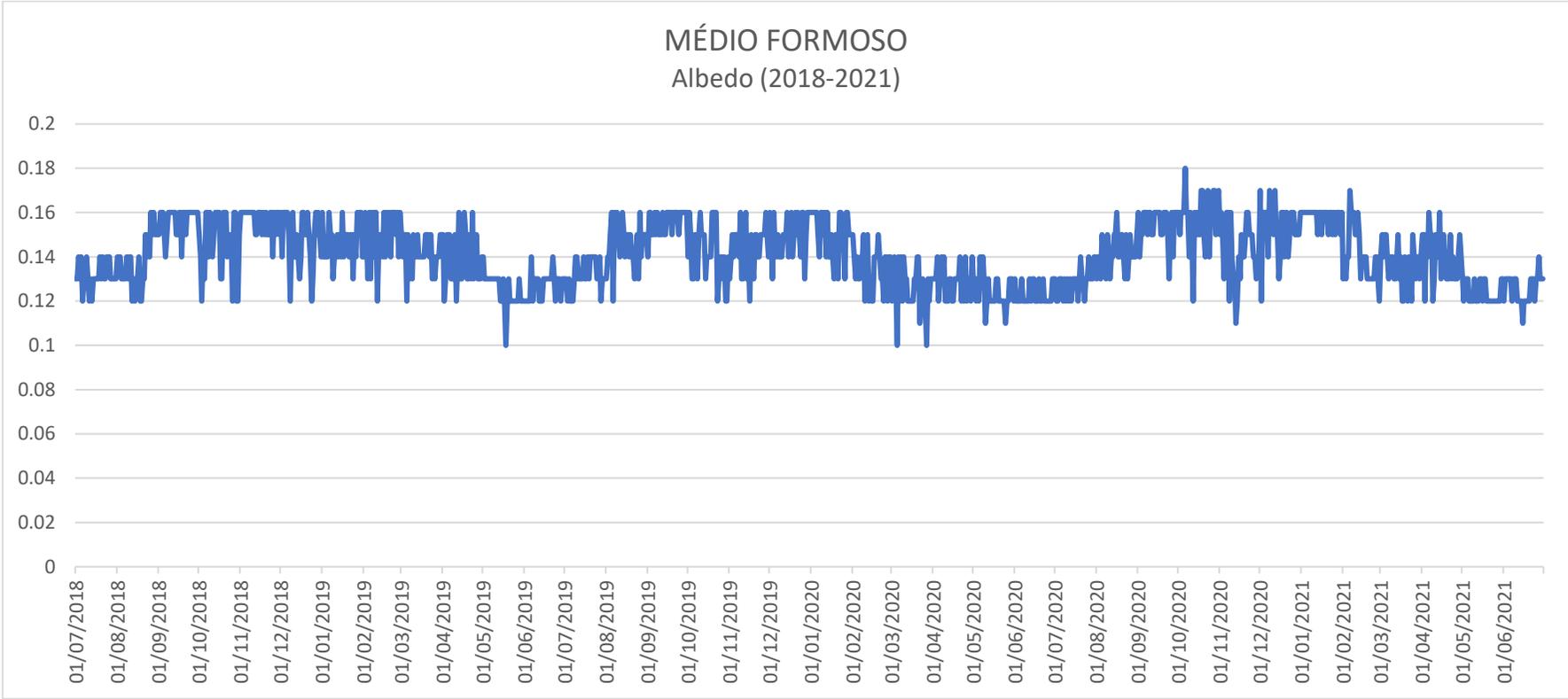
C.3 Albedo da sub-bacia do rio Alto Formoso para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



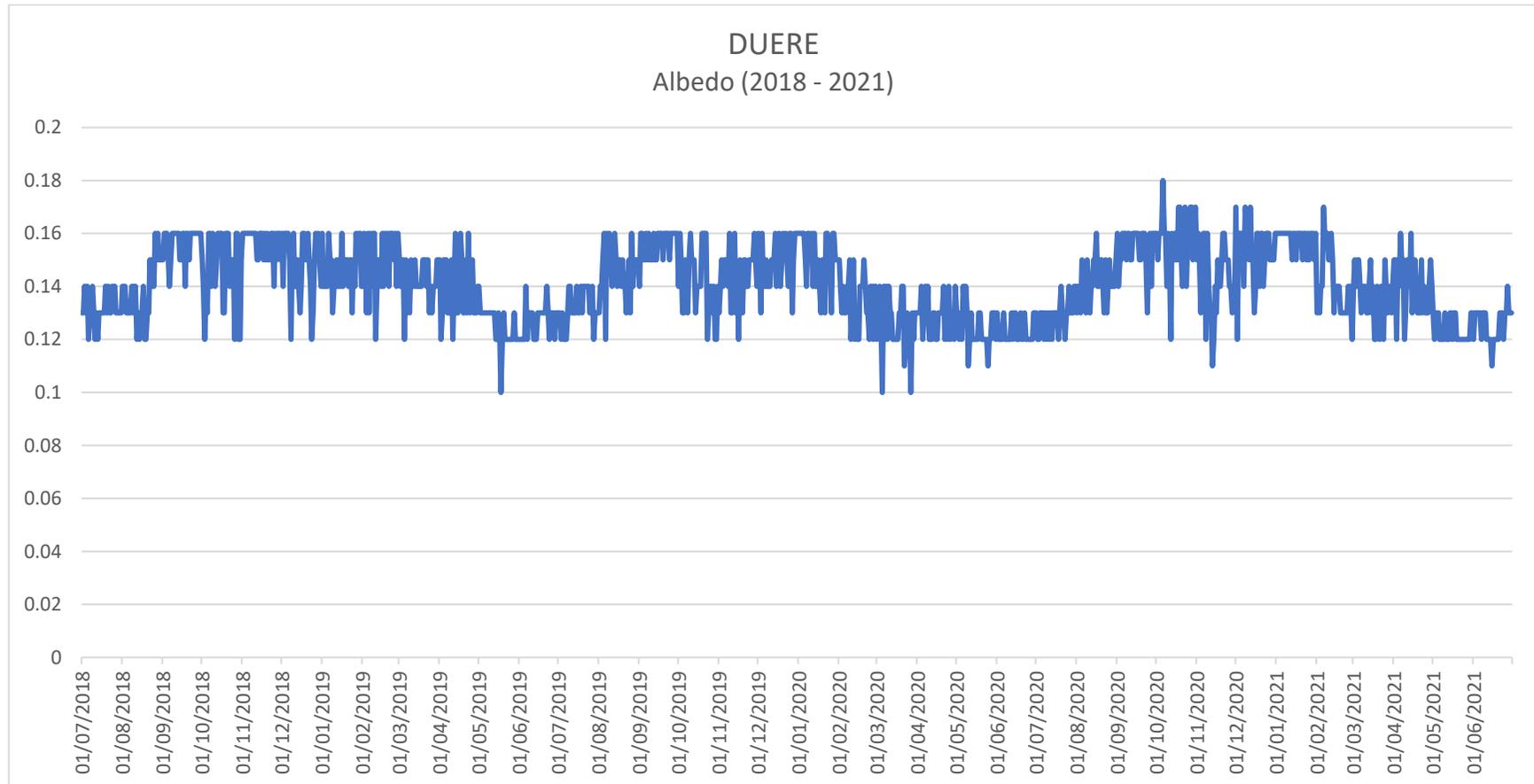
C.4 Albedo da sub-bacia do rio Xavante para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



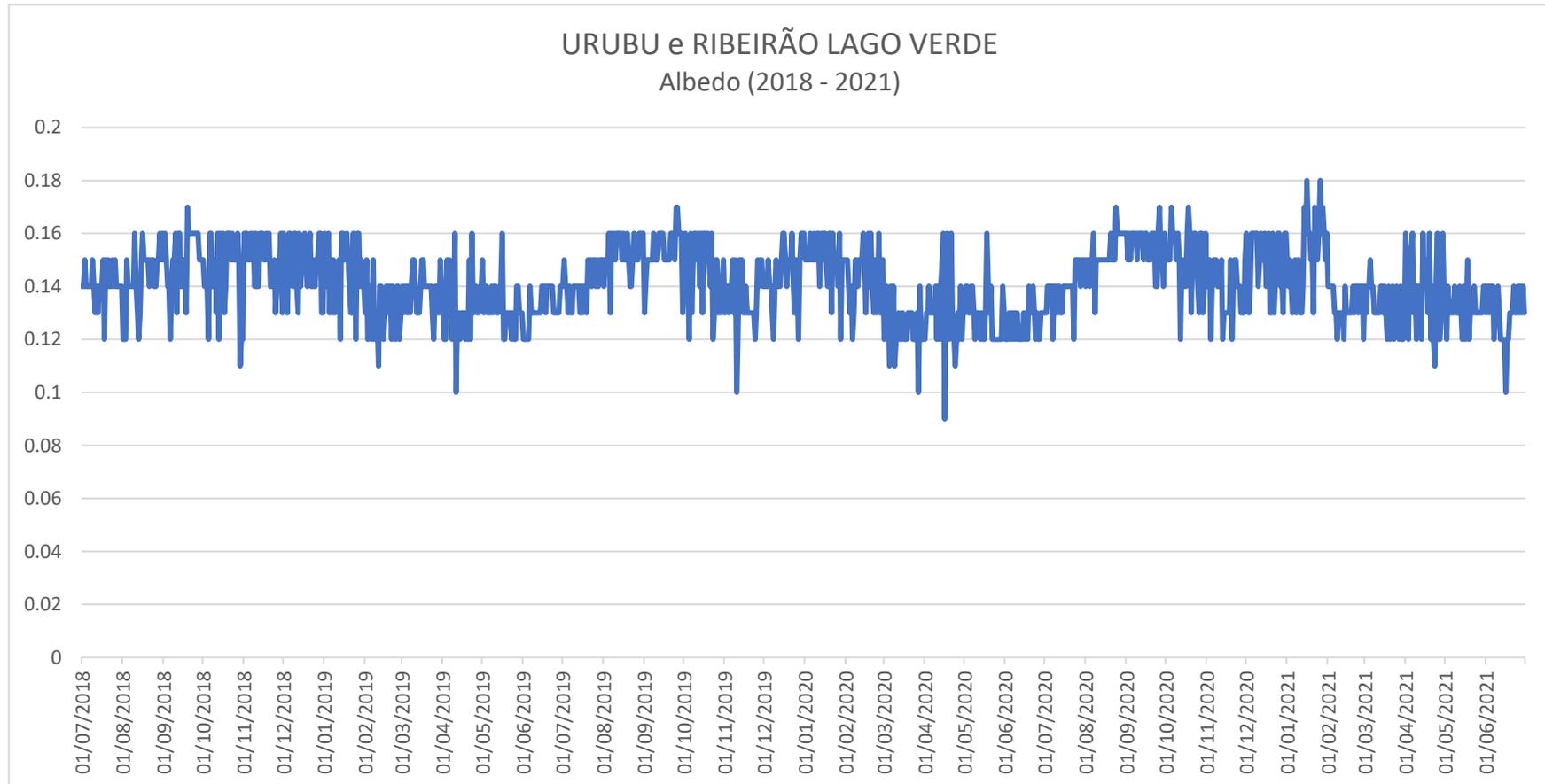
C.5 Albedo da sub-bacia do Médio Formoso para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



C.6 Albedo da sub-bacia do rio Dueré para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



C.7 Albedo das sub-bacia do rio Urubu e Ribeirão Lago Verde para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021



C.8 Albedo da sub-bacia do rio Baixo Formoso para o período de 1/7/2018 a 30/6/2021

