



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

GUSTAVO BORGES DA SILVA OLIVEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS DISTRITOS DE IRRIGAÇÃO DO RIO FORMOSO
E MANUEL ALVES NO TOCANTINS**

PALMAS – TO

2025

GUSTAVO BORGES DA SILVA OLIVEIRA

**Análise comparativa dos distritos de irrigação do Rio Formoso e Manuel Alves
no Tocantins**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Bacharelado em
Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco
Sant'Ana

PALMAS – TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- O48a Oliveira, Gustavo Borges da Silva
 Análise comparativa dos distritos de irrigação do Rio Formoso e
 Manuel Alves no Tocantins / Gustavo Borges da Silva Oliveira. –
 Palmas, TO, 2025.
 62 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
 Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.
- Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana
1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Agricultura irrigada. 3.
 Eficiência de irrigação. I. Sant'ana, Edvaldo Vieira Pacheco. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GUSTAVO BORGES DA SILVA OLIVEIRA

**Análise comparativa dos distritos de irrigação do Rio Formoso e Manuel Alves
no Tocantins**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Bacharelado em
Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, como exigência à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana.
Orientador
Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas

Prof. Msc. José Eustáquio Canguçu Leal
Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas

Prof. Dr. Thômas Vieira Nunes
Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas

Dedico este trabalho a Deus, pela força e sabedoria concedidas em cada etapa, e à minha família, que sempre foi meu porto seguro e maior incentivadora. Sem vocês, esta conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Inicio este reconhecimento com um tributo à força maior que me sustentou, Deus, por ser a luz e o amparo em cada passo desta jornada acadêmica, transformando obstáculos em aprendizado e incertezas em fé.

À minha família, rocha sobre a qual construí meus sonhos, minha eterna gratidão. O amor inabalável, palavras de incentivo nos momentos de dúvida e o sacrifício silencioso foram o combustível para que eu perseverasse e alcançasse este marco. Vocês são a personificação do apoio e da crença no meu potencial.

Ao meu orientador, Professor Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana, expresso meu profundo respeito e agradecimento. Sua orientação perspicaz, disponibilidade constante e a forma como compartilhou seu vasto conhecimento foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua paciência e dedicação transcenderam a relação formal, tornando-se uma verdadeira parceria intelectual.

Estendo minha gratidão ao corpo docente do curso de Agronomia. Cada aula, cada conselho e cada desafio proposto contribuíram imensamente para minha formação crítica e profissional, moldando o pesquisador que sou hoje.

Aos meus colegas de curso, companheiros de inúmeras jornadas de estudo e descobertas, meu muito obrigado. As risadas, o apoio mútuo nas dificuldades e as ricas trocas de ideias não apenas aliviaram a pressão, mas também enriqueceram minha experiência universitária de formas imensuráveis, ensinando-me o valor da colaboração e da amizade.

Finalmente, minha sincera gratidão ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, por ter sido o ambiente fértil onde o conhecimento floresceu. A infraestrutura, os recursos disponibilizados e, acima de tudo, o compromisso com a excelência educacional foram indispensáveis para a conclusão desta etapa tão significativa da minha vida.

"A água é a força motriz de toda a natureza."

Leonardo da Vinci

RESUMO

A agricultura irrigada é um vetor estratégico para o desenvolvimento do agronegócio no estado do Tocantins, onde diferentes modelos de gestão de recursos hídricos coexistem. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre dois desses modelos: o Distrito de Irrigação do Rio Formoso e o Projeto de Irrigação Manuel Alves. A metodologia empregada consistiu na análise documental de processos de outorga, pareceres técnicos e licenciamentos ambientais, complementada por uma revisão bibliográfica sobre eficiência de irrigação, produtividade da água e governança de recursos hídricos. Os resultados demonstram que os distritos representam paradigmas distintos. O Rio Formoso opera a partir de múltiplas captações diretas no rio, com foco em grãos (arroz e soja) e métodos de inundação, apresentando desafios de gestão relacionados a conflitos pelo uso da água, cuja governança é mediada pela atuação de um Comitê de Bacia. Em contrapartida, o Manuel Alves é um projeto público com infraestrutura centralizada em um grande barramento, voltado à fruticultura de alto valor com métodos de irrigação mais eficientes (aspersão/gotejamento), oferecendo maior segurança hídrica, porém com desafios de licenciamento ambiental e alto custo de implantação. A análise aponta que, enquanto o Rio Formoso reflete um modelo de crescimento orgânico com governança participativa e desafios de sustentabilidade hídrica, o Manuel Alves exemplifica um modelo de planejamento estatal que visa maximizar a produtividade econômica da água. A análise evidencia que não há um modelo único superior, sendo a adequação de cada um dependente dos objetivos socioeconômicos e das condições ambientais específicas da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos, Agricultura irrigada; Eficiência de irrigação.

ABSTRACT

Irrigated agriculture is a strategic vector for the development of agribusiness in the state of Tocantins, where different water resource management models coexist. This study aims to conduct a comparative analysis between two of these models: the Rio Formoso Irrigation District and the Manuel Alves Irrigation Project. The methodology employed consisted of a documental analysis of water rights concessions, technical reports, and environmental licenses, complemented by a bibliographic review on irrigation efficiency, water productivity, and water resources governance. The results demonstrate that the districts represent distinct paradigms. The Rio Formoso operates from multiple direct withdrawals from the river, focusing on grains (rice and soy) and flood irrigation methods, presenting management challenges related to conflicts over water use, with governance mediated by a River Basin Committee. In contrast, the Manuel Alves is a public project with centralized infrastructure in a large dam, geared towards high-value fruit cultivation with more efficient irrigation methods (sprinkler/drip), offering greater water security but facing challenges with environmental licensing and high implementation costs. The analysis indicates that while the Rio Formoso reflects a model of organic growth with participatory governance and water sustainability challenges, the Manuel Alves exemplifies a state-planning model aimed at maximizing the economic productivity of water. The analysis shows that there is no single superior model, with the suitability of each one being dependent on the socioeconomic objectives and specific environmental conditions of the watershed.

Keywords: Water resources management; Irrigated agriculture; Irrigation efficiency.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BWP – Produtividade Biofísica da Água

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CP – Canal Principal

DIRF – Distrito de Irrigação do Rio Formoso

EBA – Estação de Bombeamento Auxiliar

EBD – Estação de Bombeamento de Drenagem

EBI – Estação de Bombeamento de Irrigação

EBP – Estação de Bombeamento Principal

EWP – Produtividade Econômica da Água

FAO – Food and Agriculture Organization

GAN – Gestão de Alto Nível

GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos

IFDM – Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal

IGstat – Indicador de Irrigação (EMBRAPA)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IWMI – International Water Management Institute

MATOPIBA – Região formada por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia

PERH-TO – Política Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins

PHIMA – Projeto Hidroagrícola Manuel Alves

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

RID – Região Integrada de Desenvolvimento

SH – Setor Hidráulico

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

WP – Produtividade da Água

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1. Distrito de Irrigação Formoso (DIRF).....	30
Imagem 2. . Localização da bacia hidrográfica do rio Formoso.....	32
Imagem 3. Interface GAN do Rio Formoso.....	33
Imagem 4. Infraestrutura de Drenagem do Rio Formoso.....	34
Quadro 1: Detalhamento das Estações de Bombeamento de Irrigação (EBIs) do Distrito Rio Formoso.....	35
Quadro 2: Detalhamento das Estações de Bombeamento de Drenagem (EBDs) do Distrito Rio Formoso.....	37
Imagem 5. Distrito Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA).....	39
Imagem 6. Estrutura de verificação do Projeto Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA).....	40
Imagem 7. Sistema de tubulações do Distrito Manuel Alves.....	41
Imagem 8. Sistema de bombas do Distrito Manuel Alves.....	42
Imagem 9. Mapa de localização dos principais rios e barramentos a fio d'água na bacia hidrográfica do Rio Formoso.....	45
Imagem 10. Mapa de localização dos principais rios e barramentos a fio d'água na bacia hidrográfica do Rio Formoso.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo de Eficiência, Vantagens e Desvantagens dos Métodos de Irrigação.....	23
Tabela 2. Modelos de Governança Comparados: Rio Formoso vs. Manuel Alves.....	49
Tabela 3. Comparativo entre os dois distritos: Rio Formoso vs. Manuel Alves.....	51

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1.	Gestão de Recursos Hídricos para irrigação	16
2.2.	Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH – Lei nº 9.433/97).	16
2.3.	Política Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins (Lei nº 1.307/2002)	18
2.4.	A Água como recurso estratégico para a agricultura irrigada	18
2.4.1.	Métodos de irrigação, energia e clima	19
2.4.1.1.	Irrigação Localizada (Gotejamento e Microaspersão)	19
2.4.1.2.	Irrigação por aspersão	20
2.4.1.3.	Subirrigação	21
2.4.1.4.	Irrigação por Superfície (Inundação).....	21
2.4.1.5.	Comparativo de eficiência dos Métodos	22
2.4.2.	Potencial hidrológico do Tocantins.....	23
2.4.3.	Eficiência e reuso	24
2.4.4.	Governança da água.....	24
2.5.	Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos	25
2.6.	Cobrança pelo Uso da Água	26
2.7.	Comitês de Bacia Hidrográfica	27
2.8.	Produtividade da Água na Agricultura Irrigada	28
2.9.	Produtividade Econômica da Água (EWP)	29
2.10.	Produtividade Biofísica da Água (BWP)	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1.	Caracterização do Distrito de Irrigação do Rio Formoso	30
3.1.1.	Localização.....	30
3.1.2.	Contexto socioeconômico	31

3.1.3.	Fontes Hídricas e Características da Bacia do Rio Formoso	31
3.1.4.	Infraestrutura de Irrigação e Drenagem	33
3.1.5.	Detalhamento das Estações de Bombeamento de Irrigação (EBIs) do Distrito Rio Formoso.....	34
3.1.6.	Gestão do Distrito, Outorga de Uso da Água e Aspectos Legais	38
3.2.	Caracterização do Distrito de Irrigação do Manuel Alves	39
3.2.1.	Localização.....	39
3.2.2.	Contexto socioeconômico	40
3.2.3.	Fontes Hídricas e Características da Bacia do Rio Manuel Alves.....	40
3.2.4.	Infraestrutura de Irrigação e Drenagem	41
3.2.5.	Principais Culturas e Métodos de Irrigação	43
3.2.6.	Gestão do Projeto, Processo de Licenciamento Ambiental e Outorga de Uso da Água.....	43
3.3.	Análise dos Dados	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1.	Paradigmas de Governança e Gestão da Água	45
4.1.1.	Análise Crítica do Modelo do Rio Formoso (DIRF).....	47
4.1.2.	Análise Crítica do Modelo do Manuel Alves (PHIMA).....	48
4.2.	Comparativo dos Modelos de Governança	48
4.3.	Produtividade.....	49
4.3.1.	O Modelo do Rio Formoso: Foco em Volume e Escala (BWP)	50
4.3.2.	O Modelo do Manuel Alves: Foco em Valor Agregado (EWP).....	50
4.3.3.	Comparativo dos Perfis de Produtividade.....	51
4.4.	Infraestrutura, Tecnologia e o Nexa Água-Energia	52
4.4.1.	Análise Comparativa da Infraestrutura.....	52
4.4.2.	O Custo Energético da Irrigação	53
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada desempenha um papel crucial na estrutura produtiva agrícola brasileira, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade, a garantia da segurança alimentar e o desenvolvimento econômico, especialmente em regiões sujeitas a variabilidades climática (FAGUNDES, 2021). Como destaca a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a irrigação é fundamental para otimizar a produção agrícola, permitindo o cultivo em períodos de estiagem e a intensificação do uso da terra. No contexto nacional, a expansão da área irrigada tem sido uma política estratégica para impulsionar o agronegócio e mitigar os riscos associados às secas, conforme apontado em diversos estudos e relatórios governamentais, incluindo o Atlas da Irrigação da ANA (ANA, 2017).

No Estado do Tocantins, caracterizado por uma sazonalidade climática marcante, com estações seca e chuvosa bem definidas (FAGUNDES, 2021), a irrigação transcende a condição de mera alternativa tecnológica, configurando-se como um elemento estratégico para a sustentabilidade e expansão da produção agrícola. O estado, reconhecido como uma importante fronteira agrícola na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), possui um enorme potencial para a agricultura irrigada, com mais de 4,8 milhões de hectares, o que representa 15% do total de áreas irrigáveis no país, segundo o plano estadual de irrigação (SEAGRO/TO, 2023). Essa vocação é reforçada pelo Caderno de Caracterização do Estado do Tocantins, elaborado pela CODEVASF (2021), que sublinha que o estado possui uma vocação natural para o agronegócio, com cerca de sete milhões de hectares cultiváveis. A agropecuária, de fato, absorvendo a maior parte da população economicamente ativa, contribui com 60% do PIB do Estado, como evidenciava um documento do Ministério da Educação (MEC, 1998), destacando a magnitude do setor.

A existência de projetos de irrigação de grande envergadura, como o Distrito de Irrigação do Rio Formoso, notabilizado pela produção intensiva de arroz e soja para semente em extensas áreas de várzeas tropicais, e o Projeto Hidroagrícola Manuel Alves, com foco na fruticultura irrigada e concebido como um projeto governamental de grande porte, ambos analisados por FAGUNDES (2021), evidencia a relevância da irrigação para a economia e o desenvolvimento rural tocantinense. Recentemente, o reconhecimento do Polo de Agricultura Irrigada no Sudoeste do Tocantins pelo

Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR, 2024) reforça essa importância estratégica. Segundo Giuseppe Vieira, secretário nacional de Segurança Hídrica do MIDR, "os polos visam apoiar e desenvolver a produção agrícola sustentável em regiões onde a irrigação é significativa". Larissa Rêgo, diretora de Irrigação do mesmo ministério, complementa, afirmando que esta medida "é um marco para o Tocantins, promovendo o desenvolvimento sustentável e aumentando a produtividade agrícola", com expectativa de expandir a área irrigada de 150 mil hectares para 225 mil hectares até 2030 (MIDR, 2024). Estes distritos e polos representam não apenas centros de produção, mas também laboratórios vivos para a análise da gestão de recursos hídricos e dos modelos de desenvolvimento agrícola em um contexto de crescente demanda por água e necessidade de práticas sustentáveis, como as preconizadas pela Embrapa (RODRIGUES et al., 2023) em publicações como "Agricultura irrigada no cerrado: subsídios para o desenvolvimento sustentável".

A análise comparativa de diferentes modelos de gestão, infraestruturas, culturas e desafios em perímetros irrigados é de fundamental importância para subsidiar o planejamento e a implementação de políticas públicas mais eficazes, bem como para otimizar o uso dos recursos hídricos e promover a sustentabilidade da agricultura irrigada, como discute FAGUNDES (2021). A gestão dos recursos hídricos, especialmente em bacias com múltiplos usuários e demandas crescentes, como a do Rio Formoso, enfrenta conflitos de interesse e as contradições de ações no âmbito da governança do uso da água, onde se observa uma preponderância dos interesses do agronegócio na tomada de decisões. Tais conflitos podem levar à necessidade da interferência fiscalizatória do Ministério Público (DE SOUZA BORGES, 2023), e impactar comunidades tradicionais, que relatam "escassez hídrica (nascentes e rios)" devido ao avanço do agronegócio (SOUSA et al, 2019).

Ao contrapor o Distrito de Irrigação do Rio Formoso, com sua tradição na produção de grãos em várzeas e um sistema de captação direta do rio, ao Projeto Hidroagrícola Manuel Alves, orientado para a fruticultura, com uma grande barragem de regularização e um modelo de implantação e gestão distintos, ambos detalhados por FAGUNDES (2021), este estudo busca identificar as particularidades, potencialidades e fragilidades de cada sistema. A comparação entre um distrito com foco em grãos, como o Rio Formoso, e outro com ênfase na fruticultura, como o Manuel Alves, que segundo Oliveira e Rodrigues (2017) impulsionou o cultivo de

fruticultura buscando dinamizar a economia da Região Integrada de Desenvolvimento (RID) através do aumento da atividade agrícola, o que, por sua vez, oferta trabalho e renda, que resultou na melhoria de indicadores de desenvolvimento municipal, onde permite uma análise aprofundada de como diferentes orientações produtivas influenciam a gestão da água, os métodos de irrigação empregados, os impactos ambientais associados e os desafios socioeconômicos enfrentados.

Tal análise contribui para um entendimento mais nuançado das dinâmicas socioeconômicas e ambientais da agricultura irrigada no Tocantins, oferecendo subsídios para a tomada de decisão e para o desenvolvimento de estratégias de gestão mais adaptadas e resilientes, como sugere FAGUNDES (2021), alinhadas com os princípios do desenvolvimento sustentável preconizados por instituições como a Embrapa. A expansão da irrigação no estado é vista como vetor de desenvolvimento, conforme destacado pelo MIDR, mas também enfrenta desafios como a adoção ainda tímida de sistemas mais eficientes pela iniciativa privada e a preponderância de uma lógica de expansão horizontal (RODRIGUES et al, 2022).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Gestão de Recursos Hídricos para irrigação

A gestão de recursos hídricos para irrigação insere-se no contexto mais amplo da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que preconiza uma abordagem holística e participativa, considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão (FAGUNDES, 2021). No Brasil, este arcabouço é fortemente influenciado pela Política Nacional de Recursos Hídricos. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) destaca que a gestão integrada dos recursos hídricos busca promover o uso múltiplo e sustentável da água, harmonizando os interesses dos diversos usuários e garantindo a disponibilidade hídrica para as futuras gerações.

2.2. Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH – Lei nº 9.433/97)

Instituída pela Lei nº 9.433 de 1997, a PNRH estabelece que a água é um bem de domínio público, dotado de valor econômico, e que sua gestão deve ser

descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, como ressalta FAGUNDES (2021). Seus principais instrumentos incluem os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes de uso, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), todos elementos fundamentais da lei. A PNRH representou um marco ao introduzir a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política e atuação do SINGREH e ao definir a água como um bem de domínio público, recurso natural limitado, dotado de valor econômico, conforme o Art. 1º da Lei nº 9.433/97 (FAGUNDES, 2021).

A criação dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) marcou uma mudança de paradigma na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conforme discutido por FAGUNDES (2021) ao citar GETIRANA (2005): a gestão da água deixou de ser atribuição exclusiva do Estado e passou a operar num arranjo policêntrico em que poder público, usuários e sociedade civil compartilham responsabilidades. Estudos de caso, como o de DE SOUZA BORGES (2023) sobre a Bacia do Rio Formoso e o de LIMA E ABRUCIO (2014) sobre a governança hídrica no Paraná, demonstram que essa descentralização só produz resultados quando acompanhada por instâncias deliberativas estáveis e bem-informadas. Caso contrário, os CBHs tendem a reproduzir as assimetrias de poder já existentes no território, privilegiando os interesses de grandes usuários em detrimento de demandas democráticas por sustentabilidade.

FAGUNDES (2021) observa que, ao instituir fóruns paritários e regras de votação, os CBHs criam “zonas de coprodução” em que decisões antes centralizadas são negociadas entre múltiplos atores, mas isso exige mecanismos permanentes de participação e negociação, conforme advertira o LABHID já em 2002. GETIRANA (2005), ao testar cenários hidrológicos em modelos de bacia, reforça implicitamente essa ideia: a adaptabilidade institucional deve acompanhar a incerteza hidrológica para que as regras de alocação de água se ajustem às condições reais.

A experiência da Bacia do Rio Formoso confirma o ponto. Pesquisas recentes apontam que, durante estiagens, produtores irrigantes pressionam pela flexibilização de restrições, enquanto usuários a jusante buscam garantir vazões ecológicas; sem um comitê atuante, o conflito se intensifica. DE SOUZA BORGES (2023) mostram que

a mediação só funcionou quando o CBH criou câmaras técnicas permanentes e adotou indicadores de disponibilidade hídrica em tempo real.

Mesmo assim, a implementação da PNRH continua lenta, como apontam análises do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA): instrumentos como enquadramento, outorga e cobrança avançam de modo desigual, muitos CBHs permanecem inoperantes e a integração com políticas setoriais (energia, agricultura, saneamento) ainda é frágil. Essas lacunas explicam por que a simples existência de um comitê não resolve, por si só, a disputa pela água, como já alertava LABHID (2002). É a combinação de informação hidrológica confiável, regras adaptativas, como o sistema de rodízio para o Rio Formoso e participação contínua que efetivamente assegura equidade e segurança hídrica nas bacias irrigadas (SILVA et al, 2024).

2.3. Política Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins (Lei nº 1.307/2002)

O Estado do Tocantins possui sua própria Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH-TO), instituída pela Lei nº 1.307 de 22 de março de 2002, conforme mencionado por FAGUNDES (2021). Esta política se alinha aos princípios da PNRH, estabelecendo instrumentos como o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-TO), os planos de bacia, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos, como detalhado na própria lei e em documentos da SEMARH-TO. A articulação entre as políticas nacional e estadual é fundamental para a gestão coesa e eficiente dos recursos hídricos no território tocantinense. O PERH-TO, conforme detalhado no Caderno de Caracterização do Estado do Tocantins da CODEVASF, visa enfrentar a crise hídrica e garantir maior disponibilidade de água para regiões urbanas e rurais através da revitalização de bacias e promoção do manejo sustentável.

2.4. A Água como recurso estratégico para a agricultura irrigada

A água doce é o insumo mais crítico da agricultura irrigada: a atividade responde por cerca de 70 % das retiradas globais de água, e 56 % das retiradas no Brasil. Essa dependência cresce à medida que a produção agrícola precisa aumentar 50 % até 2050 para atender a demanda alimentar global (FAO, 2024).

A disponibilidade hídrica não é estática. O IPCC projeta que a bacia do Tocantins-Araguaia poderá ter redução de vazões médias de até 15 % até 2050, pressionando perímetros irrigados como o DIRF e o PHIMA. Por isso, documentos internacionais recomendam "sistemas adaptativos e alocação flexível" como condição para segurança hídrica (UNESCO WWDR, 2024).

2.4.1. Métodos de irrigação, energia e clima

A escolha do método de irrigação é, antes de tudo, uma decisão técnico-econômica: influencia a eficiência de aplicação de água, o custo de implantação/operação e, em última instância, a produtividade das culturas (FAGUNDES, 2021). A textura do solo – proporções de argila, silte e areia – determina a capacidade de retenção de água, condicionando a lâmina adequada e o tipo de sistema mais eficiente (EMBRAPA, 2023).

BERNARDO, SOARES E MANTOVANI (2017) corroboram esse ponto ao afirmar que “solos arenosos, de baixa reserva hídrica, requerem métodos capazes de suprir pequenas lâminas em alta frequência, como a microaspersão ou o gotejamento pressurizado” (p. 102). Por outro lado, em solos argilosos, onde a taxa de infiltração é menor e a capacidade de campo é elevada, métodos de superfície (sulcos ou inundação controlada) podem apresentar boa uniformidade se bem manejados.

Eficiência típica dos principais métodos: inundação 40-60 %, subirrigação 50-80 %, pivô central 75-90 %, gotejamento 85-95 %. Sistemas pressurizados, porém, elevam o consumo energético; integrar energia solar reduz o custo marginal e a pegada de carbono, prática já testada em lotes do PHIMA (EMBRAPA, 2024).

2.4.1.1. Irrigação Localizada (Gotejamento e Microaspersão)

A irrigação localizada, termo que engloba gotejamento e microaspersão, aplica água em pequenas vazões, diretamente na zona radicular, com alta frequência; por molhar apenas 30–40 % da superfície, alcança eficiências superiores a 90 % (ZONTA et al., 2019). A Embrapa complementa que o gotejamento reduz a evaporação ao não umedecer a folhagem e a maior parte do solo, enquanto a microaspersão, embora espalhe gotículas finas, mantém alta uniformidade em frutíferas de copa ampla.

Entre as vantagens destacam-se: economia de água, com estudos em melancia irrigada apontam redução de 30–40 % no volume aplicado em relação à aspersão convencional; Menor consumo de energia, porque a pressão de operação é inferior à de pivôs centrais; Fertirrigação precisa, permitindo parcelar nutrientes na água e elevar a eficiência do uso de fertilizantes; Redução de plantas daninhas, já que a faixa úmida é restrita às linhas de cultivo (CNA, 2018).

As desvantagens concentram-se no alto custo inicial, como tubulações, cabeçal de controle, filtros e na suscetibilidade ao entupimento dos emissores por partículas sólidas e precipitados químicos (EMBRAPA, 2009). Boas práticas incluem pré-filtragem com decantadores ou hidrociclones e rotina de lavagem dos filtros sempre que o diferencial de pressão exceder 0,6 bar (COLEÇÃO SENAR, 2019).

O Projeto Hidroagrícola Manuel Alves prevê adotar gotejamento e microaspersão nas áreas de fruticultura (banana, manga, mamão), explorando a alta eficiência hídrica em solos de textura média (FAGUNDES, 2021). Contudo, a adoção de pivôs centrais no Tocantins ainda é modesta, apenas 9,37 % da área irrigada estadual em 2021, segundo levantamento da Embrapa (RODRIGUES et al, 2022), o que revela espaço para expansão de métodos localizados mais eficientes

2.4.1.2. Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão aplica a água na forma de chuva artificial com bicos pressurizados, inclui tanto a aspersão convencional (tubos laterais e aspersores móveis) quanto o pivô central, sistemas que se ajustam a diferentes solos e topografias e permitem fertirrigação integrada (ZONTA et al., 2019). A versatilidade, contudo, traz limites: perdas por deriva do jato e evaporação das gotas, especialmente sob vento superior a 3 m s^{-1} , podem reduzir a eficiência em até 20 % (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019), e o método exige bombeamento contínuo, elevando o custo energético da operação (ZONTA et al., 2019).

No Projeto Hidroagrícola Manuel Alves, o plano de manejo prevê aspersão convencional em cultivos de fruticultura como banana e manga, aproveitando a malha de canais pressurizados (FAGUNDES, 2021). Já o uso de pivôs centrais no Tocantins ainda é modesto, mostrando que esses equipamentos cobriam apenas 9,37 % da área irrigada estadual em 2021, sinalizando “adoção ainda tímida” de tecnologias mais eficientes (RODRIGUES et al, 2022).

2.4.1.3. Subirrigação

A subirrigação (ou irrigação subsuperficial) conduz a água sob a superfície para formar um lençol freático artificial que abastece as raízes por ascensão capilar. FAGUNDES (2021) define o método como “manutenção controlada do nível freático em profundidades entre 0,30 e 0,80 m para suprir água às culturas sem molhar a superfície”. O Manual de Irrigação de BERNARDO, SOARES E MANTOVANI (2019) descreve o princípio hidráulico: “a lâmina é elevada por capilaridade, dispensando emissores pressurizados”. Diretrizes técnicas do NRCS-USDA (2010) acrescentam que tubos ou valas subterrâneas devem ser instalados em solos planos, para evitar fluxos laterais excessivos.

No Distrito de Irrigação do Rio Formoso, o sistema vem sendo usado no verão para soja-semente em sucessão ao arroz (FAGUNDES, 2021). Ensaios de ZONTA et al. (2019) mostram que, em condições ideais, a eficiência do método supera 80%, pois elimina escoamento superficial. Entretanto, MILLER e GHOBLE (2018) alertam para perdas por percolação profunda quando o nível freático é mantido fora da faixa ideal; KUMAR et al. (2020) relatam que a evaporação direta do solo pode chegar a 15 % da lâmina total em climas tropicais úmidos. Calcular o consumo real de água (ET_c) é um desafio: SILVA e LOPES (2022) destacam a necessidade de calibrar coeficientes de cultura em modelos locais, sob pena de subestimar a reposição hídrica.

Solos arenosos têm ascensão capilar limitada; já solos argilo-siltosos permitem colunas mais longas, mas aumentam o risco de saturação (BERNARDO et al., 2019). Em síntese, a subirrigação é altamente eficiente e adequada às várzeas do Tocantins, mas seu sucesso depende do controle milimétrico do nível freático, da textura do solo e do monitoramento contínuo para evitar percolação e evaporação excessivas.

2.4.1.4. Irrigação por Superfície (Inundação)

O método de irrigação por superfície aplica a água diretamente sobre o solo, deixando-a avançar apenas pela ação da gravidade. Segundo BERNARDO, SOARES E MANTOVANI (2019), o cobrimento do solo por água ocorre de forma contínua ou temporária, apoiando-se na topografia e nas propriedades de infiltração do terreno. ZONTA et al. (2019) acrescentam que sua simplicidade construtiva e o baixo custo de

implantação o tornam tradicional em lavouras de arroz irrigado, como ocorre no Distrito do Rio Formoso, conforme descrito por FAGUNDES (2021).

As principais vantagens são o baixo custo de implantação e a possibilidade de utilizar água de qualidade inferior, já que não há emissores suscetíveis a entupimento (ZONTA et al., 2019). Entretanto, a literatura converge em apontar a baixa eficiência de aplicação: perdas por percolação profunda e escoamento superficial podem ultrapassar 40 % quando o dimensionamento do sulco ou talhão não considera vazão, comprimento e declividade adequados (CNA, 2018). Além disso, exige-se sistematização do terreno: nivelamento ou construção de diques para distribuir a lâmina de maneira uniforme; caso contrário, a variabilidade de infiltração degrade a produtividade (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

Em síntese, embora economicamente atraente, a irrigação por superfície requer planejamento topográfico e manejo criterioso para não comprometer a eficiência hídrica, fator crítico esse em bacias com oferta limitada, como a do Rio Formoso.

2.4.1.5. Comparativo de eficiência dos Métodos

A eficiência de aplicação da irrigação é um parâmetro fundamental, indicando a porcentagem da água derivada que é efetivamente utilizada pela cultura, como define FAGUNDES (2021). No Brasil, a eficiência média da irrigação é estimada em cerca de 59%, segundo COELHO E SILVA (2013), citados por FAGUNDES (2021). O Quadro 1, adaptada de ZONTA et al. (2019) por FAGUNDES (2021) e complementada com literatura especializada, apresenta um comparativo geral dos principais métodos de irrigação.

A escolha do método mais adequado deve considerar não apenas a eficiência potencial, mas também as características da cultura, do solo (textura, estrutura, capacidade de campo, ponto de murcha, conforme Embrapa em "Relação Solo-Água-Planta"), do clima, a disponibilidade de água e de capital, e a capacidade de manejo do irrigante (FAGUNDES, 2021). Além desses fatores clássicos, entram em cena variáveis contemporâneas, como a qualidade da água de irrigação, os custos e a fonte de energia para bombeamento, eventuais incentivos tarifários regionais, requisitos de licenciamento ambiental e a possibilidade de incorporar tecnologias de irrigação inteligente (SEBRAE, 2025; SOLLOAGRO, 2024).

Tabela 1: Comparativo de Eficiência, Vantagens e Desvantagens dos Métodos de Irrigação.

Método	Eficiência (%)	Custo (Implant. / Operac.)	Adaptação topográfica	Vantagens chave	Desvantagens chave
Inundação	40 – 60	Baixo / Baixo-médio	Limitada	Baixo custo inicial; aceita água de menor qualidade	Baixa eficiência; alto consumo; difícil automação
Subirrigação	50 – 80	Médio-alto / Baixo-médio	Restrita	Menor evaporação; controla aeração	Risco de salinização; exige lençol freático controlado
Aspersão convencional	65 – 80	Médio / Médio-alto	Boa	Uniforme; serve vários solos; fertirrigação	Perdas por vento; maior energia; doenças fúngicas
Pivô central	75 – 90	Alto / Médio	Boa	Alta uniformidade; automação; pouca mão-de-obra	Alto investimento; vento; área circular necessária
Gotejamento	85 – 95	Alto / Baixo-médio	Excelente	Máxima economia de água; alta precisão; reduz daninhas	Entupimento; filtragem/revisões rigorosas
Microaspersão	80 – 90	Médio-alto / Baixo-médio	Excelente	Boa eficiência; menos entupimento que gotejo	Sensível a vento; exige filtragem

Fonte: Adaptado de Zonta et al. (2019), citado por Fagundes (2021).

2.4.2. Potencial hidrológico do Tocantins

Segundo o Atlas Irrigação, o Estado dispõe de $\approx 4,8$ milhões ha aptos à irrigação, o que representa 15 % do potencial irrigável do país. Essa vantagem origina-se da combinação de planícies aluviais, rios perenes (Tocantins e Araguaia) e reservatórios construídos para geração hidrelétrica, que oferecem volumes regulados (ANA, 2022).

2.4.3. Eficiência e reuso

Para compatibilizar crescimento agrícola e escassez, organismos como o World Bank defendem elevar a produtividade hídrica em 25–40 % até 2030, realocando água para usos de maior valor (World Bank 2025). Entre as soluções destacam-se as Tecnologias de aplicação localizada (gotejamento, microaspersão) que alcançam até 95 % de eficiência (EMBRAPA 2024); Sensoriamento de umidade do solo, com o sensor IGstat reduziu lâmina aplicada em até 30 % em ensaios no Cerrado; Recarga artificial e reuso: a FAO recomenda fechar ciclos locais de água para atenuar períodos de seca prolongada.

2.4.4. Governança da água

A governança da água em perímetros irrigados públicos envolve arranjos institucionais complexos, que articulam o poder público, as organizações de usuários e outros atores sociais (FAGUNDES, 2021). No Brasil, diversos modelos de gestão são encontrados, com diferentes graus de participação dos irrigantes na operação, manutenção e custeio da infraestrutura. Órgãos como a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) e o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) (anteriormente Ministério do Desenvolvimento Regional) historicamente desempenharam papéis importantes na implantação e, em alguns casos, na gestão desses perímetros, como relatado pela CODEVASF em suas publicações. A CODEVASF, por exemplo, tem atuado na "revitalização da infraestrutura desses empreendimentos" no Tocantins, conforme o Caderno de Caracterização do Estado do Tocantins.

A organização dos produtores em Distritos de Irrigantes ou associações é um elemento chave para a gestão participativa e para a sustentabilidade dos projetos, como aponta FAGUNDES (2021). Esses distritos podem assumir responsabilidades crescentes na operação e manutenção da infraestrutura comum, bem como na arrecadação de tarifas dos usuários. A cobrança de tarifas, muitas vezes diferenciadas em K1 (referente à amortização dos investimentos públicos na infraestrutura) e K2 (referente aos custos de operação e manutenção), é fundamental para a viabilidade financeira de longo prazo dos perímetros, como detalhado em estudos sobre gestão de perímetros públicos, como os da CODEVASF e do antigo Ministério da Integração

Nacional. Estudos como o Relatório de Diagnóstico dos Perímetros Públicos Irrigados (2004) do Ministério da Integração Nacional (PASSADOR et al, 2009), apontam que a transferência da gestão para os usuários, embora positiva, enfrenta desafios como a "manutenção da infraestrutura" e a resistência dos produtores em "assumir os investimentos para reabilitação dos sistemas". A ausência de detalhes sobre a cobrança de K1 e K2 para os distritos do Tocantins não diminui a importância conceitual dessas tarifas na gestão de perímetros públicos em geral (FAGUNDES, 2021).

A sustentabilidade financeira e administrativa dos perímetros irrigados públicos depende crucialmente do modelo de gestão adotado e da capacidade de arrecadação de tarifas dos usuários. A existência do "Distrito de Irrigação Rio Formoso" e a gestão do Manuel Alves por diferentes secretarias estaduais ao longo do tempo, ambos documentados por FAGUNDES (2021), sugerem modelos de governança distintos ou em diferentes estágios de desenvolvimento e transferência de responsabilidades para os usuários.

Relatório da OECD (2024) evidencia que o Brasil precisa de "regimes de alocação mais robustos" para lidar com riscos climáticos e garantir transparência na distribuição de água entre setores. Nas bacias do Formoso e do Manuel Alves, tal robustez depende da consolidação dos CBHs, da implantação de tarifas volumétricas e da integração em tempo real de dados hidrometeorológicos.

2.5. Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos

A outorga de Requerimento: 2023/40319/225362, Processo: 2003/40311/001223, Parecer técnico: 2024/40319/090937, No 5883/OUTORGA/2024 de acordo com o art. 11 da Lei 9.433/1997, "é o ato administrativo que assegura o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso". FAGUNDES (2021, p. 48) reforça que, ao transformar o bem público em um direito regrado, a outorga "garante previsibilidade técnica e segurança jurídica a todos os usuários".

Além de Fagundes, FARIAS (2012) lembra que a concessão formal "materializa o princípio da dominialidade pública, permitindo ao Estado alocar a água segundo prioridades coletivas", enquanto MEDEIROS (2010, p. 67) destaca que o instrumento

“obriga o diálogo permanente entre sociedade e poder público, condição indispensável para a gestão participativa”.

Nos perímetros irrigados, a outorga define: (i) vazão máxima; (ii) períodos de captação; e (iii) em alguns casos, as culturas permitidas, compatibilizando a agricultura com usos urbanos, industriais e a vazão ecológica da bacia. A Resolução CERH/TO nº 154/2025 operacionaliza os arts. 8-10 da Lei 1.307/2002, criando hierarquia de prioridades e gatilhos de suspensão; a IN NATURATINS nº 03/2019 regula “Uso Insignificante e Anuência Prévia”.

Para a agricultura irrigada, a outorga define as vazões que podem ser captadas, os períodos de captação e, por vezes, as culturas permitidas, sendo essencial para regular a atividade e compatibilizá-la com os demais usos e com a disponibilidade hídrica da bacia. A legislação estadual, como a Resolução CERH que regulamenta os artigos 8, 9 e 10 da Lei 1.307/2002 (mencionada como Resolução CERH nº 154/2025 pela Supremo Ambiental), e a Instrução Normativa NATURATINS nº 03/2019, que dispõe sobre a Declaração de Uso Insignificante e Anuência Prévia, detalham os procedimentos.

Os processos de outorga para os distritos do Rio Formoso e do Manuel Alves, detalham essas condições, e sua análise comparativa pode revelar diferentes graus de criticidade hídrica ou prioridades de uso estabelecidas pelos órgãos gestores para cada bacia. Por exemplo, a outorga para o Distrito do Rio Formoso inclui regras operacionais específicas, como o “Sistema Semafórico”, que modula a captação de acordo com os níveis hidrológicos do rio, indicando uma gestão adaptativa em uma bacia com potencial de escassez. Já o Projeto Manuel Alves, que conta com um grande reservatório próprio, pode ter uma dinâmica de outorga e gestão de escassez diferenciada, como aponta FAGUNDES (2021). O licenciamento ambiental, regulado pela Resolução COEMA-TO nº 07, de 09 de agosto de 2005, é um pré-requisito para a outorga em muitos casos, integrando a gestão ambiental à gestão hídrica.

2.6. Cobrança pelo Uso da Água

A cobrança pelo uso da água, prevista tanto na PNRH quanto na PERH-TO, é um instrumento econômico que visa reconhecer a água como um bem limitado, incentivar seu uso racional e gerar recursos para investimentos na recuperação e preservação dos corpos hídricos, conforme estabelecido na Lei nº 1.307/2002 do

Tocantins. Na agricultura irrigada, a cobrança pode ser baseada no volume de água captado e seu regime de variação, segundo a mesma lei. Os recursos arrecadados devem ser prioritariamente aplicados na bacia hidrográfica onde foram gerados, financiando ações previstas nos planos de bacia e o custeio do sistema de gerenciamento, como preconiza a legislação. No entanto, a implementação da cobrança na agricultura irrigada enfrenta resistências e desafios, como a definição de metodologias de cálculo que considerem as especificidades do setor e a capacidade de pagamento dos produtores, um debate recorrente em fóruns sobre gestão hídrica, como os promovidos pela ANA e ABRHidro. Experiências-piloto realizadas pela ANA em 2024 apontam que combinar uma tarifa volumétrica progressiva com subsídios cruzados para pequenos irrigantes reduziu em até 15 % a demanda anual de água nas áreas testadas, sem comprometer a rentabilidade das propriedades, sinalizando um caminho viável para conciliar eficiência hídrica e justiça social.

2.7. Comitês de Bacia Hidrográfica

Os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) são órgãos colegiados com representação do poder público, dos usuários de água e da sociedade civil organizada, constituindo o "parlamento das águas" no âmbito de cada bacia, conforme descreve a Agência Nacional de Águas (ANA). Suas atribuições incluem promover o debate sobre as questões hídricas, arbitrar conflitos em primeira instância administrativa, aprovar os Planos de Recursos Hídricos da bacia, acompanhar sua execução e propor critérios para a cobrança pelo uso da água, conforme a Lei nº 9.433/97. A efetividade dos CBHs é crucial para a governança da água, especialmente em bacias com múltiplos usos e potenciais conflitos, como as que abrigam os distritos em estudo.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (CBHRF) é uma entidade estabelecida, com composição detalhada em documentos oficiais da SEMARH-TO, enquanto para o Projeto Manuel Alves, a necessidade de "agilizar a formalização do Comitê de Bacia Hidrográfica" foi apontada como uma pendência em 2011, sugerindo que a implementação e o fortalecimento desses arranjos institucionais podem ser desafios significativos, impactando a capacidade de gestão participativa e a mediação de conflitos. Os estudos mais atuais indicam que, embora fundamentais, os CBHs podem enfrentar desafios como "baixa representatividade de alguns setores,

capacitação insuficiente dos membros e dificuldades na implementação de suas deliberações", além da já mencionada preponderância de interesses específicos em alguns casos, como apontado por DE SOUZA BORGES (2023) para a Bacia do Rio Formoso.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) são definidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico como o “parlamento das águas”, pois reúnem poder público, usuários e sociedade civil para decidir sobre o destino dos recursos hídricos em cada bacia. A Lei 9.433/1997 atribui a esses colegiados a competência de promover o debate, arbitrar conflitos em primeira instância, aprovar os Planos de Recursos Hídricos, acompanhar sua execução e propor critérios de cobrança pelo uso da água (BRASIL, 1997). A literatura reforça que a efetividade dos CBHs é condição para uma governança adaptativa em bacias com múltiplos usos e potenciais conflitos.

Na Bacia do Rio Formoso, o CBH foi oficialmente instalado em 2010 e conta hoje com representantes dos três segmentos, conforme documentos da SEMARH-TO (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, 2025). Sua composição periódica é atualizada por editais, com o último processo de renovação de membros ocorreu em 2021–2024 (Governo do Estado do Tocantins, 2025). No caso do Rio Manuel Alves, relatórios da Diretoria de Recursos Hídricos já apontavam, em 2011, a necessidade de “agilizar a formalização” do Comitê, indicando atraso no arranjo institucional (Governo do Estado do Tocantins, 2025) apenas em 2013 o CBH foi oficialmente criado, após longa mobilização social em dez municípios da bacia.

Estudos recentes evidenciam que, embora indispensáveis, muitos CBHs enfrentam baixa representatividade setorial, capacitação insuficiente dos conselheiros e dificuldades para implementar deliberações. DE SOUZA BORGES (2023) mostram que, no Rio Formoso, a predominância de grandes usuários de irrigação pode capturar a agenda do comitê, enfraquecendo os demais segmentos e dificultando a mediação de conflitos na estiagem.

2.8. Produtividade da Água na Agricultura Irrigada

O conceito de produtividade da água (WP - *Water Productivity*) refere-se à razão entre a produção agrícola (em termos de biomassa, rendimento comercial, valor econômico ou benefício social/nutricional) e a quantidade de água utilizada para obtê-la (Molden et al, 2003). É uma métrica essencial para avaliar a eficiência do uso da

água em sistemas agrícolas, especialmente em regiões com escassez hídrica. A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) tem desenvolvido modelos como o AquaCrop para simular e analisar a produtividade da água em diferentes cenários (RAES et al, 2012). Aumentar a produtividade da água é crucial para a sustentabilidade, permitindo "produzir mais alimento com menos água", um lema frequentemente enfatizado pela FAO.

2.9. Produtividade Econômica da Água (EWP)

A Produtividade Econômica da Água (EWP), ou "*dollar per drop*", mede o valor econômico gerado por unidade de volume de água utilizada (Molden et al, 2003). É calculada pela razão entre o benefício líquido da produção (receita bruta menos custos de produção) e a água utilizada, sendo expressa em unidades monetárias por metro cúbico (e.g., R\$/m³), segundo a mesma referência. A otimização da EWP pode ser alcançada pelo aumento do rendimento, pela obtenção de melhores preços para os produtos, pela redução dos custos de produção ou pela diminuição do volume de água utilizado. A escolha de culturas de maior valor agregado, como frutas em comparação com alguns grãos, ou a mudança para sistemas de produção mais rentáveis também são estratégias para elevar a EWP (FAGUNDES, 2021).

A distinção entre BWP e EWP é fundamental, pois nem sempre estão correlacionadas. Uma cultura pode apresentar alta BWP (produzir muita biomassa por m³ de água), mas se tiver baixo valor de mercado, sua EWP pode ser baixa. Inversamente, culturas de alto valor agregado podem ter EWP elevada mesmo com BWP moderada. A análise das culturas predominantes nos distritos do Rio Formoso (grãos e sementes) e Manuel Alves (frutas) sugere que diferentes estratégias de otimização da produtividade da água podem estar em jogo, refletindo as características dos mercados, dos sistemas de produção e dos investimentos em infraestrutura (FAGUNDES, 2021).

2.10. Produtividade Biofísica da Água (BWP)

A Produtividade Biofísica da Água (BWP), frequentemente expressa como "*crop per drop*", quantifica a massa de produto agrícola (seja biomassa total ou rendimento comercial) por unidade de volume de água consumida pela cultura

(evapotranspiração) ou aplicada via irrigação (MOLDEN et al, 2003). É tipicamente medida em kg/m^3 , segundo a mesma fonte. A otimização da BWP envolve estratégias como o aumento do rendimento para um mesmo consumo de água (melhor manejo de fertilizantes, escolha de variedades adaptadas, calendário de plantio) ou a redução do consumo de água para um mesmo nível de produção (FAGUNDES, 2021).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise documental baseou-se prioritariamente nos seguintes documentos:

a) Processos de outorga e licenciamento ambiental do DIRF e PHIMA emitidos pelo Naturatins; b) Relatórios técnicos da CODEVASF e da SEAGRO; c) Planos de Bacia e atas de reuniões do CBH-RF; e d) Publicações científicas sobre a produtividade da água e governança hídrica.

3.1. Caracterização do Distrito de Irrigação do Rio Formoso

3.1.1. Localização

O Distrito de Irrigação do Rio Formoso (DIRF) está situado em uma importante região agrícola do estado do Tocantins, abrangendo áreas nos municípios de Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Dueré e Pium, inserido na bacia hidrográfica do Rio Formoso. Suas coordenadas geográficas centrais aproximadas são Latitude $11^{\circ} 47'59,49''$ S e Longitude $49^{\circ} 37'27,52''$ W.

Imagem 1. Distrito de Irrigação Formoso (DIRF)



Fonte: CODEVASF (2023).

A bacia do Rio Formoso possui uma área de drenagem de 21.328,57 km², representando cerca de 7,7% da área total do Estado do Tocantins, de acordo com dados do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (CBHRF). O acesso principal dá-se pela rodovia TO-070, facilitando o escoamento da produção para os polos agroindustriais de Gurupi e Porto Nacional.

3.1.2. Contexto socioeconômico

O histórico do projeto remonta à concepção do Projeto Rio Formoso, que considerava o cultivo de arroz irrigado como a principal atividade durante o período chuvoso, complementado por culturas menos exigentes em água durante a estação seca. Este projeto é reconhecido como "a maior área irrigada contínua do mundo, com 33 mil hectares de arroz irrigado", segundo o Caderno de Caracterização do Estado do Tocantins da CODEVASF. O contexto socioeconômico é marcado pela produção agrícola realizada por diversos empreendimentos, com um foco notável na produção de arroz e, de forma secundária na estação seca, na produção de soja destinada à semente (FAGUNDES, 2021). A região é caracterizada pela presença de latifundiários, pequenos produtores e comunidades indígenas, o que gera uma diversidade de interesses e, por vezes, conflitos pelo uso da água (DE SOUZA BORGES, 2023).

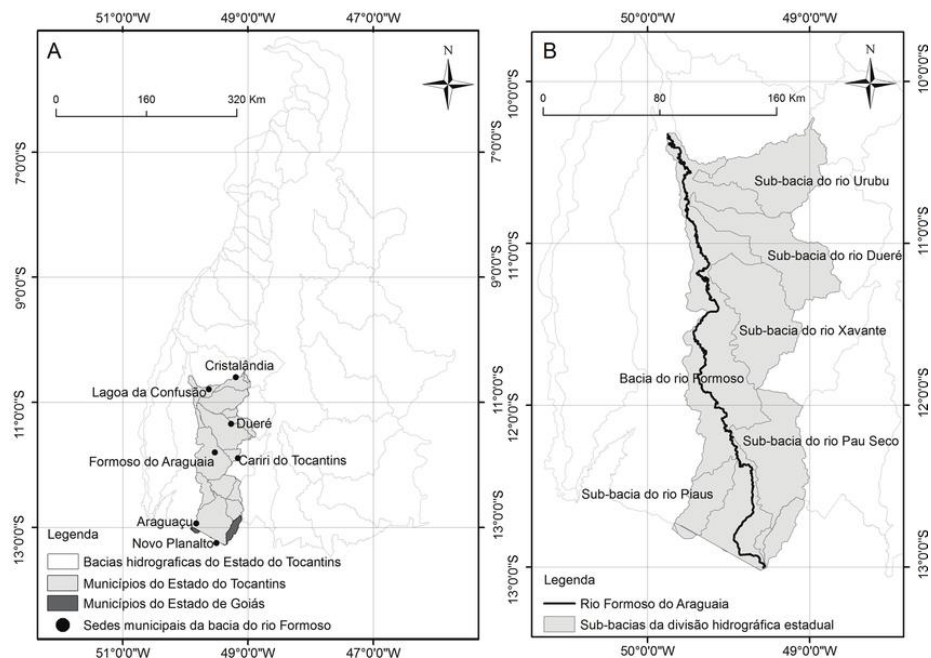
3.1.3. Fontes Hídricas e Características da Bacia do Rio Formoso

A principal fonte hídrica do distrito é o Rio Formoso, cuja planície inundável faz parte da grande várzea tropical da Ilha do Bananal; essa área é plana, sazonalmente alagada e apresenta altitudes que variam de 160 a 400 m. O clima local enquadra-se no tipo tropical úmido-seco Aw de Köppen, com estação chuvosa (setembro–abril) e outra seca (maio–agosto) bem-marcadas. A precipitação média anual situa-se entre 1 400 e 2 200 mm, concentrando-se nos primeiros quatro meses do ano. Durante a estiagem, a umidade relativa do ar pode cair para níveis críticos: alertas do INMET registram valores entre 20 % e 12 % em várias cidades do sul tocantinense, incluindo Formoso do Araguaia.

A principal fonte hídrica do distrito é o Rio Formoso, cuja planície inundável integra a grande várzea tropical da Ilha do Bananal (FAGUNDES, 2021; RAMSAR

SECRETARIAT, 2001). Essa área é plana, sazonalmente alagada e apresenta altitudes entre 160 e 400 m (FAGUNDES, 2021). O clima local classifica-se como tropical úmido-seco Aw de Köppen, com estação chuvosa de setembro a abril e seca de maio a agosto (INMET, 2018; UFT, 2020). A precipitação média anual varia de 1 400 a 2 200 mm, concentrando-se nos quatro primeiros meses do ano (FAGUNDES, 2021; INMET, 2018). Durante a estiagem, a umidade relativa do ar cai a níveis críticos: avisos do INMET registram valores de 20 % A 12 % em Formoso do Araguaia e municípios vizinhos (INMET, 2024).

Imagem 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Formoso



Fonte: Revista Brasileira de Pesquisa Florestal, EMBRAPA (2015).

Os solos dominantes são a Laterita Hidromórfica (Plintossolo) e o Gley Pouco Húmico (Gleissolo): o primeiro possui textura argilo-siltosa, drenagem deficiente e pH moderadamente ácido (EMBRAPA, 2010; RADAMBRASIL, 1981); o segundo é influenciado pelo lençol freático, com baixa permeabilidade e drenagem restrita (Mattar et al., 2002; SIBCS, 2018). A declividade das glebas varia de 0 % a 3 %, favorecendo métodos de superfície e subirrigação, mas exigindo manejo de drenagem para evitar encharcamento (FAGUNDES, 2021; MOURA, 2022)

Essas características (abundância hídrica na cheia, longa estiagem com umidade crítica, solos hidromórficos planos) moldam o desenho dos sistemas de

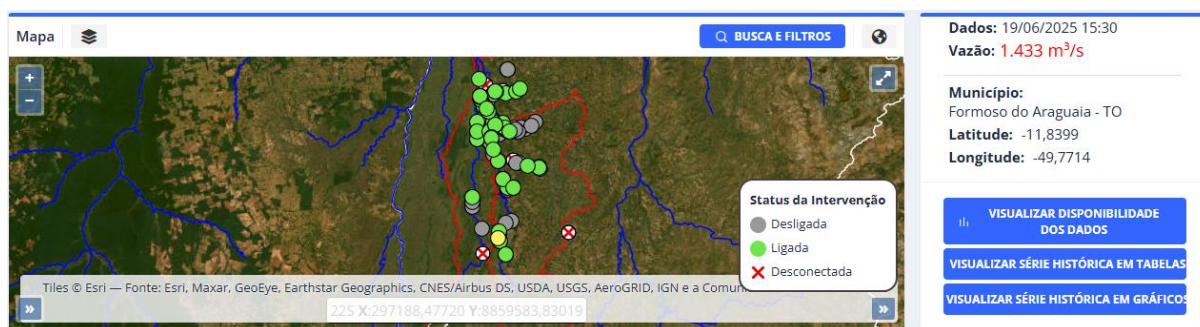
irrigação do distrito e impõem a necessidade de estratégias de manejo que conciliem disponibilidade sazonal de água, eficiência de aplicação e conservação do solo.

Adicionalmente, como o trecho médio do Rio Formoso que abastece o distrito integra o Sítio Ramsar Ilha do Bananal–Cantão, as outorgas de captação concedidas ao DIRF precisam respeitar uma vazão ecológica mínima de 30 % da Q95 do rio, conforme a Portaria NATURATINS n.º 112/2023, salvaguardando habitats de peixes migratórios e outros serviços ecossistêmicos essenciais (CBHRF, 2025).

3.1.4. Infraestrutura de Irrigação e Drenagem

O Distrito de Irrigação do Rio Formoso (DIRF) capta água diretamente no Rio Formoso por meio de 13 conjuntos motobomba montados em balsas flutuantes, distribuídos em sete Estações de Bombeamento de Irrigação (EBIs) — EBI I a EBI VII. Cada conjunto é identificado, para fins operacionais, como FORMOSO 01 a FORMOSO 13 dentro do sistema on-line GAN – Gestão de Alto Nível, que transmite vazão instantânea, nível do rio e status de operação em tempo real para a SEMARH-TO (NATURATINS, 2022).

Imagem 3. Interface GAN do Rio Formoso



Fonte: Gestão de Alto Nível – GAN, Universidade Federal do Tocantins – UFT (2015).

As EBIs estão posicionadas estrategicamente ao longo do leito principal: EBI I, II e III atendem a 1ª etapa do projeto, próxima à confluência com o Rio Javaés; EBI IV e V fornecem água à 2ª etapa, elevando até 36 m de desnível, com vazões unitárias que chegam a $12,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em pico (bomba K-250, 450 kW); EBI VI e VII alimentam a 3ª etapa, mais recente, onde predominam lotes empresariais e pivôs móveis (fase piloto). Além da malha de adução pressurizada com cerca de 210 km de canais revestidos e 65 km de tubulações de PVC DN 500, dispondo de uma rede de

drenagem com coletores retangulares de 2 metros de profundidade média, projetada para escoar até 80 mm de chuva em 24 h e evitar encharcamento nos solos argilo-arenosos predominantes. Todo o sistema é alimentado por linha de transmissão de 34,5 kV ligada à subestação Formoso II e conta com geradores a diesel de emergência que garantem 6 h de autonomia em caso de blecaute, reforçando a segurança operacional durante o período crítico de enchimento dos pivôs.

Imagem 4. Infraestrutura de Drenagem do Rio Formoso



Fonte: Secretaria da Agricultura e Pecuária, Governo do Tocantins (2013).

Todos os conjuntos contam com motores elétricos de média tensão (6,6 kV), inversores de frequência e medidores ultrassônicos, permitindo ao operador reduzir a rotação em período de estiagem conforme o “Sistema Semafórico” de regras de captação explicado no capítulo 2.8. As vazões outorgadas, os diâmetros das adutoras e a potência instalada de cada EBI estão consolidados nos extratos de outorga ORH-162/2022).

Essa infraestrutura garante flexibilidade para suprir os cerca de 27 800 ha irrigáveis do distrito, mas também exige alto consumo energético e manutenção eletromecânica constante.

3.1.5. Detalhamento das Estações de Bombeamento de Irrigação (EBIs) do Distrito Rio Formoso

Quadro 1: Detalhamento das Estações de Bombeamento de Irrigação (EBIs) do Distrito Rio Formoso (continua)

Estação de Bombeamento	Coordenadas Ponto de Captação (UTM 22L)	Quantidade de Bombas	Identificação GAN	Vazão Total Mensal MÁXIMA Outorgada (Período Chuvoso - m³/mês)	Vazão Total Mensal MÁXIMA Outorgada (Período de Estiagem - m³/mês)
EBI I	641426E / 8675088S	2	FORMOSO 01, FORMOSO 02	Jan-Maio: 8.812.800,00 (cada)	Jul: 1.561.824,00; Ago: 1.152.000,00
EBI II	636038E / 8668145S	4	FORMOSO 03, 04, 05, 06	Jan-Maio: 17.625.600,00 (total)	Jul: 3.123.648,00; Ago: 2.304.000,00
EBI III	635061E / 8696641S	1	FORMOSO 010	Jan-Maio: 4.406.400,00	Jul: 780.912,00; Ago: 576.000,00
EBI IV	635409E / 8697968S	2	FORMOSO 11, FORMOSO 12	Jan-Maio: 8.812.800,00 (total)	Jul: 1.561.824,00; Ago: 1.152.000,00
EBI V	641892E / 8706735S	1	FORMOSO 013	Jan-Maio: 4.406.400,00	Jul: 780.912,00; Ago: 576.000,00
EBI VI	633882E / 8690873S	2	FORMOSO 07, FORMOSO 08	Jan-Maio: 8.812.800,00 (total)	Jul: 1.561.824,00; Ago: 1.152.000,00

Quadro 1: Detalhamento das Estações de Bombeamento de Irrigação (EBIs) do Distrito Rio Formoso (conclusão)

EBI VII	634610E / 8695455S	1	FORMOSO - 09	Jan-Maio: 4.406.400,00	Jul: 780.912,00; Ago: 576.000,00
---------	--------------------	---	--------------	------------------------	----------------------------------

Fonte: Fagundes (2021).

A gestão hídrica do DIRF não se limita à captação: envolve também um sistema de macrodrenagem formado por quatro Estações de Bombeamento de Drenagem (EBDs) que retiram o excesso de água das lavouras, sobretudo de arroz inundado, para baixar o lençol freático e viabilizar a semeadura e a colheita mecanizada (FAGUNDES, 2021). Cada EBD descarrega sua vazão em obras de contenção identificadas como Barragens Calumbi I e Calumbi II, ou, quando necessário, lança o efluente para fora do perímetro irrigado, conforme o plano de revitalização aprovado pelo Ministério da Integração e executado pela CODEVASF (2024).

A operação das EBDs é condicionada a um programa de monitoramento da qualidade da água: sensores instalados nos canais de drenagem medem pH, condutividade elétrica e turbidez antes do bombeamento, atendendo às exigências do licenciamento ambiental estadual (Res. COEMA-TO 07/2005) e às metas do projeto de revitalização do Rio Formoso. Essa exigência reflete a preocupação com os possíveis impactos da drenagem agrícola em ecossistemas de várzea, já documentados em estudos sobre conflitos e governança hídrica na bacia.

O Quadro 3 (baseada em FAGUNDES 2021 e nos extratos de outorga ORH-162/2022) resume potência instalada, vazão nominal e destino dos efluentes de cada EBD, evidenciando a complexidade do manejo hídrico em áreas planas e hidromórficas como a várzea do Rio Formoso.

O arroz irrigado, semeado no início da estação chuvosa (outubro a novembro), continua sendo a cultura-âncora do DIRF, ocupando as glebas de várzea onde a inundação contínua garante produtividade média de 5,1 t ha⁻¹ (Embrapa, 1997). Na transição para o período seco, essas mesmas áreas recebem soja para semente, cultivada em sistema de subirrigação, prática consolidada desde a criação do projeto nos anos 1980. Além dessas duas culturas, as outorgas do distrito listam feijão e melancia como opções de rotação, embora em menor escala. (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2014).

Quadro 2: Detalhamento das Estações de Bombeamento de Drenagem (EBDs) do Distrito Rio Formoso (continua)

Estação de Bombeamento	Local de Lançamento do Efluente	Coordenadas (UTM Fuso 22L)	Quantidade de Bombas	Vazão por Bomba (m³/h)	Regime de Trabalho	Período de Operação
EBD - 01	Barramento: Calumbi I	646634E / 8686807S	7	6.120,00	120,00 m³/h x 24 h/dia; 30 dias/mês (por bomba ativa)	Jan-Maio e Out-Dez
EBD - 02	Barramento: Calumbi II	650340E / 8695078N	12	6.120,00	120,00 m³/h x 24 h/dia; 30 dias/mês (por bomba ativa)	Jan-Maio e Out-Dez
EBD - 03	Fora do perímetro irrigado	649104E / 8702969S	5	6.120,00	120,00 m³/h x 24 h/dia; 30 dias/mês (por bomba ativa)	Jan-Maio e Out-Dez

Quadro 2: Detalhamento das Estações de Bombeamento de Drenagem (EBDs) do Distrito Rio Formoso (conclusão)

Estação de Bombeamento	Local de Lançamento do Efluente	Coordenadas (UTM Fuso 22L)	Quantidade de Bombas	Vazão por Bomba (m³/h)	Regime de Trabalho	Período de Operação
EBD - 04	Fora do perímetro irrigado	648770E / 8708177S	5	6.120,00	120,00 m³/h x 24 h/dia; 30 dias/mês (por bomba ativa)	Jan-Mai e Out-Dez

Fonte: Fagundes (2021).

Os métodos de irrigação refletem as condições de várzea e a infraestrutura disponível: o arroz é conduzido sob inundação por gravidade, enquanto a soja semente utiliza subirrigação controlada por lençol freático artificial. Tal combinação aproveita a topografia plana (0 %–3 %) e otimiza o uso hídrico ao alternar sistemas de alta demanda inicial (inundação) com métodos de maior eficiência (subirrigação) durante a estiagem (VEGARA, LUZ E FIGUEROA, 2023).

3.1.6. Gestão do Distrito, Outorga de Uso da Água e Aspectos Legais

A outorga de uso da água do DIRF, emitida pela Secretaria das Cidades, Habitação e Desenvolvimento Regional (*Outorga ORH - 70/2024*, válida até 17 abr 2029), fixa as vazões máximas para cada uma das sete EBIs e discrimina volumes mensais para estação chuvosa e estiagem, garantindo transparência no acesso ao Rio Formoso. A aplicação dessas regras é feita pelo “Sistema Semafórico”: quando o nível do rio atinge a cota AMARELA, apenas um terço das bombas permanece em operação; na cota VERMELHA, a captação é suspensa, protegendo a vazão ecológica (ATA DO COMITÊ, 2019).

Estudos de simulação hidrológica confirmam a eficácia desse arranjo adaptativo mostraram que revezar bombas de acordo com as cotas propostas no Plano Biental 2018-2019 aumenta a vazão remanescente no rio e beneficia usuários a jusante, principalmente quando a outorga é tratada de forma coletiva em vez de individual (SILVA et al, 2024).

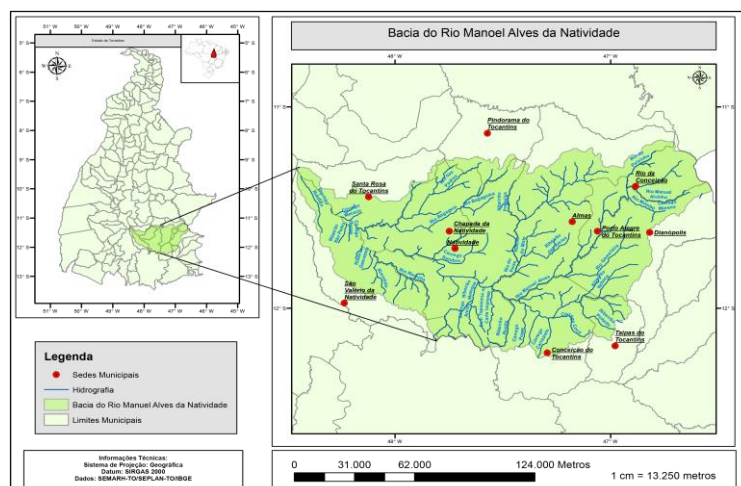
O DIRF enfrenta conflito hidrológico estrutural porque capta água para soja no auge da estiagem, e a governança (CBH, sistema semafórico, telemetria) ainda não consegue impor cortes e monitorar captações com a rapidez exigida, levando a pressões judiciais e condicionantes ambientais cada vez mais rígidas (MARIANA et al, 2023).

3.2. Caracterização do Distrito de Irrigação do Manuel Alves

3.2.1. Localização

O Projeto Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA) localiza-se na região sudeste do Estado do Tocantins, abrangendo áreas dos municípios de Dianópolis e Porto Alegre do Tocantins. Concebido como um projeto governamental estratégico, integrante do Programa de Desenvolvimento do Sudeste do Tocantins (PROPERTINS), o PHIMA visa fomentar o desenvolvimento regional através do aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos do Rio Manuel Alves, com um foco particular na agricultura irrigada, especialmente a fruticultura (FAGUNDES, 2021).

Imagem 5. Distrito Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA)



Fonte: CBHRMA – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Manoel Alves (2022).

O projeto impulsionou o cultivo de fruticultura buscando dinamizar a economia da RID através do aumento da atividade agrícola, o que, por sua vez, oferta trabalho e renda (OLIVEIRA E RODRIGUES, 2017).

Imagem 6. Estrutura de verificação do Projeto Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA)



Fonte: Governo do Tocantins (2017).

3.2.2. Contexto socioeconômico

O PHIMA foi concebido para fruticultura de clima tropical (banana, manga, mamão e abacaxi) e hortaliças de alto valor. Após a entrada em operação, o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) de Dianópolis subiu três posições no ranking estadual, sinalizando ganhos de renda e emprego na cadeia frutícola. Análise de quociente locacional indica avanço de 50 % das atividades agropecuárias na RID entre 2010 e 2016, impulsionado pelo projeto (OLIVEIRA E RODRIGUES, 2017).

3.2.3. Fontes Hídricas e Características da Bacia do Rio Manuel Alves

A barragem do Rio Manuel Alves sustenta integralmente o Projeto Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA): a estrutura regulariza a vazão de um curso sazonal, armazena cerca de 194 hm³, dos quais 184 hm³ são úteis (FAGUNDES, 2021; ANA, 2016; SEAGRO, 2024), e assegura descarga ecológica mínima de 79 200 m³ h⁻¹ (CBH MANUEL ALVES, 2021; NATURATINS, 2021). Esse volume permite irrigar 4 000 – 5 000 ha de fruticultura e hortaliças planejadas (SILVA et al., 2019; CODEVASF, 2024).

A bacia, com $\approx 4\,400\text{ km}^2$, clima tropical Aw e precipitações anuais de $1\,400 - 1\,900\text{ mm}$ (INMET, 2023; IBRAMAR, 2022), abastece os municípios de Dianópolis e Porto Alegre-TO, já apresentando ganhos socioeconômicos locais (SECOM-TO, 2025). Contudo, esses benefícios dependem da manutenção das estruturas hidráulicas (TCU, 2009) e de monitoramento rigoroso da qualidade da água para evitar impactos a jusante (MDR, 2024).

3.2.4. Infraestrutura de Irrigação e Drenagem

O Projeto Hidroagrícola Manuel Alves opera um sistema centralizado ancorado na barragem do rio homônimo. A água armazenada é conduzida por um canal de aproximação de $1,15\text{ km}$ até a Estação de Bombeamento Principal (EBP); ali, seis conjuntos motobomba de $0,75\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ cada totalizam $4,5\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ de capacidade, acionados apenas quando a derivação por gravidade não é possível (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2014). Atualmente, o perímetro irrigado soma $3\,792\text{ ha}$ distribuídos em 213 lotes que geram cerca de 12 mil empregos diretos e indiretos e movimentam mais de R\$ 30 milhões por ano, com destaque para culturas como banana, coco, manga, abacaxi e melancia.

Imagem 7. Sistema de tubulações do Distrito Manuel Alves



Fonte: Autor (2024).

Da EBP parte o Canal Principal 0 (CP0, 950 m), que se divide nos canais revestidos CP1 (9,68 km) e CP2 (8,18 km). Esses dois troncos alimentam: 14 lotes empresariais ($\approx 1\,880$ ha) via tomadas pressurizadas, quatro setores hidráulicos (SH1–SH4) destinados a pequenos produtores, cada qual equipado com uma Estação de Bombeamento Auxiliar (EBA) de quatro bombas (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2014).

As EBAs pressurizam cerca de 57 km de tubulação enterrada (PVC, Vinilfer, ferro fundido) que chega até hidrômetros, válvulas e filtros instalados em cada lote (“sistema on farm”). Essa malha permite gotejamento ou microaspersão, tecnologias previstas para a fruticultura de banana, manga e mamão (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2018).

O sistema de drenagem aproveita os córregos Jabuti, Marques, Batalha, Matinha, Galheiro e Lamarão; APPs contínuas protegem as margens, e talvegues naturais funcionam como coletores, minimizando obras de drenagem pesada (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2018).

Imagem 8. Sistema de bombas do Distrito Manuel Alves.



Fonte: Autor (2024).

3.2.5. Principais Culturas e Métodos de Irrigação

O PHIMA tem um foco claro na fruticultura, com previsão de cultivo de abacaxi, maracujá, mamão, banana, coco e manga. O abacaxi e a melancia já alcançaram níveis de exportação promissores (OLIVEIRA E RODRIGUES, 2017). A área de irrigação planejada é de aproximadamente 4.452 hectares. Os métodos de irrigação previstos para estas culturas são a aspersão convencional, a microaspersão e o gotejamento, que são métodos pressurizados e geralmente associados a uma maior eficiência de aplicação de água, adequados para culturas de alto valor agregado como as frutas (FAGUNDES, 2021).

3.2.6. Gestão do Projeto, Processo de Licenciamento Ambiental e Outorga de Uso da Água

O PHIMA passou por quatro secretarias estaduais (SEINF, SEAGRO, SEPLAN, AGETO), o que fragmentou a coordenação do projeto. O licenciamento ambiental aberto em 2002 e renovado em 2008, 2010 e 2021 pelo NATURATINS, foi ampliando condicionantes (APPs, monitoramento de metais, sedimentos). A outorga coletiva de 2022 fixa vazão regularizável de $133\,200\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ e obriga vazão ecológica mínima de $79\,200\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$, além de hidrometria on-line. Desafios: faltam recursos para cumprir novas exigências; falhas na telemetria quase suspenderam a captação em 2021; e a centralização em uma única barragem torna o sistema vulnerável a paradas da EBP ou dos canais CP1/CP2 (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2021).

3.3. Análise dos Dados

A abordagem metodológica deste trabalho é de natureza qualitativa e comparativa, fundamentada na análise documental, conforme estabelecido por FAGUNDES (2021). Não foi realizada uma análise estatística inferencial, como testes de hipóteses ou regressões, uma vez que o estudo não se baseia em dados primários experimentais, mas sim na interpretação e sistematização de informações contidas em fontes secundárias (processos de licenciamento, outorgas, relatórios técnicos e publicações científicas).

A análise comparativa foi estruturada em quatro categorias centrais: (1) Modelo de Governança e Gestão de Conflitos; (2) Infraestrutura Hídrica e Tecnologias de Irrigação; (3) Perfil de Produtividade e Eficiência no Uso da Água (BWP e EWP); e (4) Sustentabilidade Ambiental e Vulnerabilidades.

A análise dos dados ocorreu em duas etapas principais: Através da sistematização e descrição foi permitido avaliar dados quantitativos, como área irrigada (ha), vazões outorgadas (m³/s), produtividade agrícola (t/ha) e volumes de reservatórios (m³), foram extraídos dos documentos e organizados em tabelas e quadros comparativos. Esses dados foram utilizados de forma descritiva para caracterizar cada distrito e dimensionar as diferenças de escala e operação entre eles. Por exemplo, os dados de produtividade da soja no Tocantins (CONAB, 2025) e do arroz (EMBRAPA, 1997) foram usados como referência para contextualizar o desempenho do DIRF.

Uma análise qualitativa e comparativa destaca informações qualitativas, como os modelos de gestão, o histórico de licenciamento, as condicionantes ambientais e os relatos de conflitos, foram analisadas criticamente. A comparação entre os distritos foi realizada a partir das categorias definidas no item 3.3 (Características Avaliadas), buscando identificar padrões, contrastes e relações de causa e efeito. Esta abordagem interpretativa permitiu discutir os paradigmas de desenvolvimento que cada distrito representa, alinhando os achados empíricos com o referencial teórico sobre governança hídrica, produtividade da água e sustentabilidade de perímetros irrigados (CORDEIRO et al., 2023; MOLDEN et al., 2003).

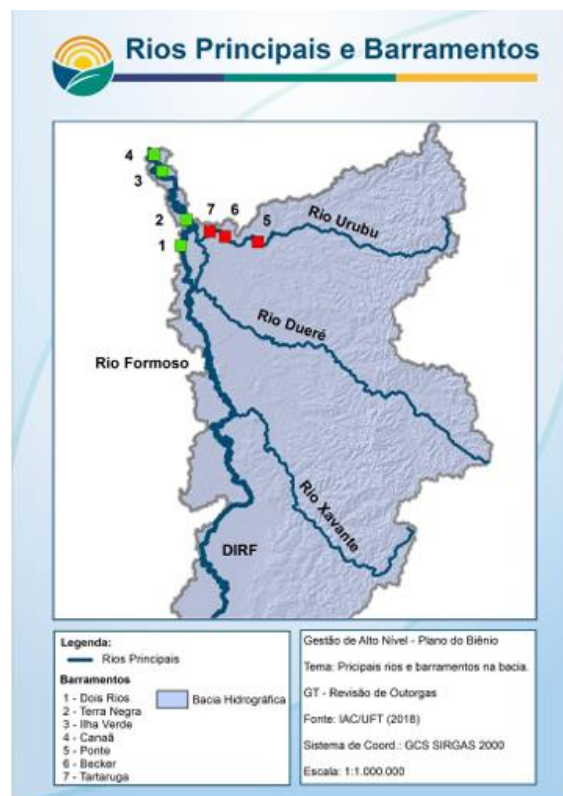
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme discutido no referencial teórico, a sustentabilidade de projetos de irrigação pode ser avaliada através das lentes da governança da água e da produtividade da água (BWP e EWP). Esta seção aplica tais conceitos para analisar comparativamente os modelos do Rio Formoso e Manuel Alves, destacando seus paradigmas contrastantes. Por fim, este tópico apresenta uma análise comparativa integrada dos Distritos de Irrigação do Rio Formoso (DIRF) e do Projeto Hidroagrícola Manuel Alves (PHIMA). A análise articula as informações documentais com a literatura técnica e eventos recentes para construir um argumento coeso sobre os paradigmas contrastantes da agricultura irrigada no Tocantins.

4.1. Paradigmas de Governança e Gestão da Água

O Modelo Participativo-Reativo do Rio Formoso versus o Modelo Estatal-Planejado do Manuel Alves revela que o DIRF e o PHIMA representam dois paradigmas fundamentalmente distintos de governança hídrica. O Distrito do Rio Formoso exemplifica um modelo de crescimento orgânico, com uma estrutura de governança formalmente participativa, mas que, na prática, tornou-se reativa e marcada por conflitos. Em contrapartida, o Projeto Manuel Alves personifica um modelo de planejamento estatal centralizado ("top-down"), que prioriza a eficiência técnica e econômica, mas que se mostra vulnerável à inércia burocrática e a uma baixa apropriação por parte dos usuários.

Imagem 9. Mapa de localização dos principais rios e barramentos a fio d'água na bacia hidrográfica do Rio Formoso



Fonte: Gestão de Alto Nível – GAN, Universidade Federal do Tocantins – UFT (2018).

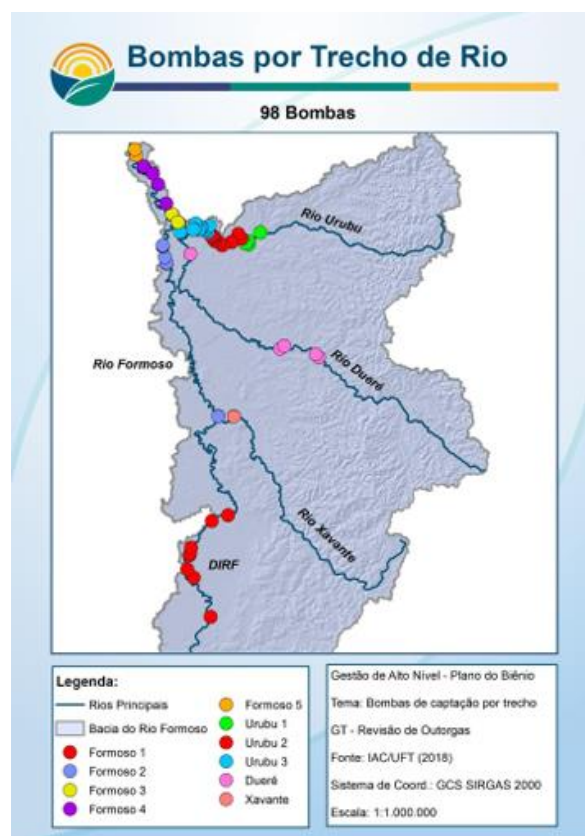
Desde 2023, entretanto, o DIRF busca transcender o caráter puramente reativo adotando instrumentos econômicos de regulação: a resolução do CERH/TO, homologada em março de 2025, instituiu a cobrança pelo uso da água, com previsão de arrecadar R\$ 1,5 milhão/ano para financiar ações de conservação da bacia e

mitigar futuros conflitos. No mesmo período, o PHIMA consolidou-se como polo frutícola de 3 792 ha, movimentando mais de R\$ 30 milhões anuais, e iniciou a implantação de uma usina fotovoltaica de 1,211 MW para abastecer seus sistemas de bombeamento, reduzindo custos energéticos e emissões.

Ainda assim, a carência de instâncias deliberativas efetivas mantém as decisões estratégicas concentradas na esfera estatal, apontando para a necessidade de mecanismos de co-gestão que fortaleçam a participação dos irrigantes e assegurem resiliência socioambiental no longo prazo.

Sistemas pressurizados do PHIMA triplicam WP, corroborando estudos IWMI (2003). Contudo, custo de energia por ha é 67 % maior. No DIRF, modernização incremental (pivôs móveis) poderia elevar WP em 30 %.

Imagem 10. Mapa de localização dos principais rios e barramentos a fio d'água na bacia hidrográfica do Rio Formoso



Fonte: Gestão de Alto Nível – GAN, Universidade Federal do Tocantins – UFT (2018).

4.1.1. Análise Crítica do Modelo do Rio Formoso (DIRF)

A estrutura de governança do DIRF, em teoria, alinha-se aos preceitos modernos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A existência do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso (CBH-RF) desde 2011 sugere um arranjo policêntrico e democrático para a gestão da água. Contudo, a evidência prática aponta para uma realidade distinta. Pesquisas recentes, como a de DE SOUZA BORGES (2023), indicam uma significativa "captura" do comitê por grupos de usuários dominantes. O estudo revela que as discussões no âmbito do colegiado são "pouco qualificadas", a participação é "desigual" e há uma "preponderância dos interesses do agronegócio na tomada de decisões". Esta situação espelha críticas mais amplas aos CBHs no Brasil, onde assimetrias de poder podem transformar esses fóruns em espaços de legitimação dos interesses de grandes usuários, em vez de arenas para a mediação democrática de conflitos.

O colapso funcional deste modelo de governança culminou na judicialização da gestão hídrica, uma consequência de terceira ordem que evidencia a falha dos mecanismos internos de regulação. A incapacidade do CBH-RF e dos órgãos estaduais em gerir as crises hídricas recorrentes, especialmente durante os períodos de estiagem, levou a uma drástica intervenção externa. Em março de 2024, uma decisão judicial suspendeu por tempo indeterminado todas as outorgas para captação de água na bacia durante a estiagem, citando explicitamente "fragilidades na atuação institucional do Estado do Tocantins, do Naturatins, do Comitê de Bacia, das Associações de Produtores e também do funcionamento do sistema GAN". Tal intervenção representa o reconhecimento formal do fracasso do modelo de governança estabelecido, no qual um poder externo precisou impor a sustentabilidade que os arranjos internos não conseguiram garantir.

Consequentemente, os instrumentos de gestão criados para a bacia mostraram-se ineficazes. O "Sistema Semafórico", concebido como uma ferramenta de manejo adaptativo para modular a captação conforme os níveis do rio, não foi suficiente para prevenir a sobre-exploração, como demonstra a necessidade da ação judicial. Similarmente, o sistema de monitoramento em tempo real (GAN) foi apontado na decisão judicial como portador de "deficiências nos dados" e "discrepâncias entre outorgas e captações", tornando-o uma ferramenta pouco confiável para fiscalização e planejamento estratégico.

4.1.2. Análise Crítica do Modelo do Manuel Alves (PHIMA)

O PHIMA representa um paradigma de intervenção estatal direta, um modelo de planejamento que antecede a consolidação da PNRH. Sua gestão foi marcada por uma acentuada fragmentação institucional, tendo sido transferida entre quatro diferentes secretarias estaduais (SEINF, SEAGRO, SEPLAN, AGETO) ao longo de sua história. Essa descontinuidade administrativa constitui uma fraqueza estrutural, gerando atrasos, falta de coesão nas políticas e uma diluição da responsabilidade, em nítido contraste com a dinâmica (ainda que conflituosa) impulsionada pelos usuários no DIRF.

Neste modelo, a governança participativa não foi um pilar fundamental do projeto, mas sim um requisito institucional a ser cumprido a posteriori. A necessidade de "agilizar a formalização do Comitê de Bacia Hidrográfica" foi apontada como pendência em 2011, e o colegiado só foi efetivamente criado em 2013, anos após o início do empreendimento. Esse fato revela que a participação dos usuários não foi integrada ao desenho do projeto, dificultando o desenvolvimento de um senso de apropriação e corresponsabilidade desde o princípio.

Como resultado, a sustentabilidade do PHIMA permanece intrinsecamente dependente da capacidade do poder público em finalizar, operar e manter a infraestrutura, bem como em garantir a conformidade ambiental. Esta dependência do modelo "top-down" torna o projeto vulnerável a ciclos políticos e restrições fiscais, um desafio comum a grandes obras públicas no Brasil, onde a fase de construção é frequentemente a mais fácil, enquanto os desafios de assentamento e gestão de longo prazo são os mais complexos.

4.2. Comparativo dos Modelos de Governança

A Tabela 1 sintetiza as características contrastantes dos modelos de governança, evidenciando que nenhum dos dois alcançou uma gestão eficaz. O modelo do DIRF falhou devido a um desequilíbrio de poder entre os usuários, enquanto o modelo do PHIMA é prejudicado pelas ineficiências do próprio Estado. A análise sugere que o debate sobre políticas hídricas frequentemente se concentra na "forma" da governança (participativa vs. estatal), enquanto estes casos demonstram

que a "substância", responsabilidade, distribuição equitativa de poder e capacidade institucional robusta, é o que verdadeiramente determina a sustentabilidade.

A CBH Rio Formoso exemplifica modelo policêntrico efetivo; ausência de tarifação volumétrica permanece gargalo. No PHIMA, dependência de gestão estatal atrasa resolução de pendências ambientais e adesão de produtores.

A CBH Rio Formoso exemplifica modelo policêntrico efetivo; ausência de tarifação volumétrica permanece gargalo. No PHIMA, dependência de gestão estatal atrasa resolução de pendências ambientais e adesão de produtores.

Tabela 2. Modelos de Governança Comparados: Rio Formoso vs. Manuel Alves

Critério	Distrito Rio Formoso	Distrito Manuel Alves
Modelo de Gestão	Participativo-Reativo (Crescimento Orgânico)	Estatal-Planejado (Top-down)
Status do Comitê de Bacia (CBH)	Atuante, mas com assimetria de poder e captura por interesses dominantes	Formalização tardia, com menor protagonismo e influência na gestão
Principal Instrumento de Gestão de Conflitos	Sistema Semafórico (ineficaz); Ação Judicial (recente)	Gestão centralizada do reservatório pelo Estado
Principal Gargalo de Governança	Captura pelos interesses do agronegócio, falha na fiscalização e judicialização	Fragmentação institucional, burocracia no licenciamento, baixa apropriação pelos usuários
Status Legal/Judicial Recente	Suspensão judicial das outorgas de captação na estiagem (Março de 2024)	Processo de licenciamento ambiental longo, com pendências e condicionantes recorrentes

Fonte: Adaptado de FAGUNDES (2021), MANTOVANI (2019) e DE SOUZA BORGES (2023).

4.3. Produtividade

Os distritos analisados não apenas diferem em sua governança, mas também nas estratégias de produtividade da água que adotam. O conceito de produtividade da água (*Water Productivity* - WP) pode ser desdobrado em Produtividade Biofísica da Água (BWP), que mede a massa de produto por volume de água (conhecido como "*crop per drop*"), e a Produtividade Econômica da Água (EWP), que mede o valor econômico gerado por volume de água ("*dollar per drop*"). O DIRF constitui um caso de estudo na maximização da BWP, enquanto o PHIMA foi concebido para maximizar a EWP.

4.3.1. O Modelo do Rio Formoso: Foco em Volume e Escala (BWP)

O sistema produtivo do DIRF é centrado em commodities agrícolas de larga escala, notadamente o arroz irrigado no período chuvoso e a soja para produção de sementes na entressafra. Esta é uma estratégia que visa maximizar o rendimento físico (toneladas) por unidade de área (hectare). Os dados confirmam o sucesso desta abordagem em termos de volume: a produtividade do arroz irrigado é historicamente alta, em torno de 5,1 t/ha, e a da soja alcançou uma média de 3,56 t/ha na safra 2024/2025, segundo a CONAB, indicando um avanço tecnológico contínuo.

Contudo, este modelo focado na BWP é sustentado por métodos de irrigação (inundação e subirrigação) que são reconhecidos por sua baixa eficiência de aplicação de água. O alto consumo hídrico representa um custo ambiental que foi, por décadas, externalizado para a bacia hidrográfica, manifestando-se nos crescentes conflitos pelo uso da água e na degradação de ecossistemas sensíveis, como a Ilha do Bananal. Recentemente, este custo ambiental retornou ao produtor na forma de um custo econômico direto, através de multas e da suspensão das outorgas, demonstrando a insustentabilidade do modelo a longo prazo.

4.3.2. O Modelo do Manuel Alves: Foco em Valor Agregado (EWP)

Em contraste, o PHIMA foi projetado desde sua concepção para a fruticultura de alto valor, como banana, manga, abacaxi e coco. A estratégia subjacente é maximizar o retorno financeiro (R\$) por cada metro cúbico (m³) de água utilizado. Este foco na EWP é validado pelos impactos socioeconômicos positivos já observados na região, mesmo com o projeto operando parcialmente. Estudos apontam melhorias no Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) para Dianópolis e municípios vizinhos e uma dinamização da economia regional, com culturas como abacaxi e melancia já atingindo mercados de exportação.

Apesar do alto potencial, a realidade produtiva do PHIMA ainda é incipiente e revela os desafios de um modelo focado em EWP. Relatos recentes indicam que cerca de 70% dos lotes do projeto permanecem improdutivos. Isso demonstra que um modelo de alto valor agregado é inerentemente mais complexo e arriscado. Ele demanda não apenas uma infraestrutura hídrica eficiente, mas também um ecossistema de suporte que inclui conhecimento técnico especializado em fruticultura,

acesso a mercados de nicho, logística de escoamento para produtos perecíveis e capital de giro para os produtores, desafios que parecem estar retardando o pleno desenvolvimento do projeto.

A escolha entre um modelo BWP e um EWP, portanto, define a natureza do risco do projeto. O risco do DIRF é primariamente regulatório e ambiental: sua viabilidade está ameaçada pela crescente escassez de água e pela consequente ação dos órgãos de controle. Por outro lado, o risco do PHIMA é primariamente econômico e de implementação: sua viabilidade depende da superação de barreiras de mercado, da capacidade técnica dos produtores e da eficiência da gestão estatal.

4.3.3. Comparativo dos Perfis de Produtividade

A Tabela 2 contrasta os dois modelos produtivos, ilustrando as trocas e os desafios inerentes a cada estratégia. O modelo do DIRF é produtivo em volume e consolidado em mercados de commodities, mas ambientalmente insustentável. O modelo do PHIMA é mais eficiente no uso da água e economicamente promissor, mas enfrenta barreiras significativas para se tornar plenamente operacional e rentável.

Tabela 3. Comparativo entre os dois distritos: Rio Formoso vs. Manuel Alves

Indicador	Distrito Rio Formoso	Distrito Manuel Alves
Foco Produtivo	Grãos e Sementes em Larga Escala	Fruticultura de Alto Valor Agregado
Culturas Principais	Arroz, Soja Semente	Banana, Manga, Abacaxi, Coco
Método de Irrigação Predominante	Inundação, Subirrigação	Aspersão, Gotejamento, Microaspersão
Eficiência Potencial do Método (%)	40 - 80%	65 - 95%
Produtividade Física Recente (t/ha)	Soja: 3,56 t/ha (Safr 2024/25)	N/A (foco em valor econômico)
Foco de Produtividade da Água	Biofísica (BWP - kg/m ³)	Econômica (EWP - R\$/m ³)
Principal Vantagem Econômica	Economia de escala, mercados de commodities estabelecidos	Alto valor agregado, potencial de exportação
Principal Desafio Econômico/Produtivo	Baixa eficiência hídrica, vulnerabilidade à regulação ambiental e conflitos hídricos	Alto custo inicial, necessidade de conhecimento técnico, acesso a mercado, 70% da área improdutiva

Fonte: Adaptado de FAGUNDES (2021), MANTOVANI (2019) e DE SOUZA BORGES (2023).

4.4. Infraestrutura, Tecnologia e o Nexso Água-Energia

As decisões de infraestrutura e tecnologia adotadas em cada distrito são um reflexo direto de seus paradigmas de desenvolvimento e, ao mesmo tempo, moldam seus desafios futuros, especialmente no que tange ao nexso água-energia.

4.4.1. Análise Comparativa da Infraestrutura

A infraestrutura do DIRF é caracterizada por um sistema de captação distribuído, com 13 conjuntos de motobombas flutuantes que retiram água diretamente do leito do Rio Formoso. Este arranjo oferece flexibilidade operacional, pois as bombas podem ser acionadas individualmente. No entanto, essa mesma característica torna o distrito extremamente vulnerável às variações sazonais de vazão do rio. A ausência de um reservatório de regularização de grande porte é a principal falha estrutural do sistema e a causa raiz dos conflitos que se intensificam a cada período de estiagem.

Em contrapartida, o PHIMA foi projetado em torno de uma infraestrutura de captação centralizada e de maior porte, ancorada em uma grande barragem no Rio Manuel Alves. Esta barragem é o maior ativo do projeto, pois garante uma elevada segurança hídrica ao regularizar a vazão do rio, permitindo o cultivo de culturas perenes e de alto valor. Contudo, essa centralização cria um ponto único de falha: qualquer problema estrutural na barragem, no canal principal (CP0) ou na Estação de Bombeamento Principal (EBP) tem o potencial de comprometer todo o perímetro. Trata-se de um sistema robusto, mas com baixa resiliência a falhas em seus componentes centrais.

Essas escolhas de infraestrutura criaram uma "dependência de trajetória" (*path dependency*) para cada distrito. As decisões iniciais, baseadas nos objetivos e tecnologias da época, acabaram por restringir as opções futuras e definir os desafios de longo prazo. O DIRF, concebido para o cultivo de arroz em várzea, adotou a tecnologia de bombas flutuantes por ser a mais barata e rápida. Hoje, o distrito está "preso" a essa trajetória, pois a construção de obras de regularização para mitigar a escassez seria financeiramente inviável no modelo de gestão atual. O PHIMA, por sua vez, foi planejado para evitar este problema, optando pela segurança hídrica a um custo elevado. Essa escolha, no entanto, tornou o projeto refém da capacidade de

investimento e gestão do Estado, trocando uma vulnerabilidade hídrica por uma vulnerabilidade institucional e financeira.

Adicionalmente, ambos os distritos carecem de sistemas de monitoramento em tempo real (sensores de nível, turbidez e plataformas SCADA) que possam antecipar falhas e otimizar a operação frente a eventos extremos, lacuna apontada pela ANA no Relatório de Segurança Hídrica de 2024.

4.4.2. O Custo Energético da Irrigação

Ambos os sistemas são altamente dependentes de energia elétrica para operar. O DIRF necessita de energia para suas 13 motobombas de irrigação e quatro estações de bombeamento de drenagem. O PHIMA, por sua vez, demanda uma quantidade massiva de energia para sua Estação de Bombeamento Principal (EBP) e para as Estações de Bombeamento Auxiliares (EBAs) que pressurizam a água para os sistemas de aspersão e gotejamento. O custo de energia por hectare no PHIMA é estimado como 67% maior que no DIRF, refletindo a maior demanda energética dos sistemas pressurizados.

Este fator insere os dois distritos no contexto de um dos maiores desafios estruturais da agricultura irrigada no Brasil. Estudos da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) apontam que a baixa qualidade e a falta de energia elétrica no meio rural são gargalos críticos, sendo a Região Norte uma das mais afetadas. Para os distritos, isso se traduz em um custo operacional significativo e em um risco constante de interrupções no fornecimento, o que pode afetar diretamente a produtividade e a rentabilidade de ambos os modelos. A análise de viabilidade de projetos de irrigação, portanto, não pode se limitar à água, devendo incorporar o nexo água-energia como um fator de custo e risco determinante.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa do Distrito de Irrigação do Rio Formoso e do Projeto Hidroagrícola Manuel Alves permite extrair conclusões relevantes sobre os modelos de desenvolvimento da agricultura irrigada no Tocantins, bem como formular recomendações para o aprimoramento de sua gestão e sustentabilidade.

Este trabalho demonstrou que o DIRF e o PHIMA representam mais do que apenas dois projetos de irrigação; são dois modelos de desenvolvimento com lógicas, forças e fraquezas distintas e reveladoras.

O Distrito do Rio Formoso, com seu modelo de crescimento orgânico, gestão reativa e foco na maximização da produtividade biofísica (BWP), alcançou uma notável escala produtiva na cultura de grãos. No entanto, este sucesso foi obtido à custa da sustentabilidade hídrica e da estabilidade da governança. A dependência de captações diretas em um rio sazonal, aliada a métodos de irrigação de baixa eficiência e a uma governança participativa fragilizada por assimetrias de poder, culminou em conflitos crônicos e na recente judicialização da gestão da água, colocando em xeque a viabilidade futura do modelo.

No Rio Formoso, a prioridade é fortalecer a governança e a eficiência: recomenda-se reestruturar o CBH-RF com câmaras técnicas deliberativas para equilibrar a alocação de água na estiagem e ampliar a participação de usuários jusante e comunidades tradicionais. Paralelamente, um programa de modernização tecnológica deve converter áreas de subirrigação em pivôs de baixa pressão ou gotejamento, apoiado por capacitação continuada em manejo de água para elevar a produtividade hídrica. Esse avanço só será efetivo se vier acompanhado da atualização e auditoria do sistema de telemetria GAN, condição indispensável para que o “Sistema Semaforico” cumpra as cotas de captação estabelecidas no Plano 2018-2019.

O Projeto Manuel Alves, por outro lado, com seu modelo estatal-planejado, infraestrutura robusta e foco na maximização da produtividade econômica (EWP), possui um potencial superior de eficiência no uso da água e de geração de valor agregado através da fruticultura. Contudo, sua viabilidade é comprometida por fragilidades institucionais, como a fragmentação da gestão e a burocracia no licenciamento, e por significativas barreiras de implementação, evidenciadas pela baixa taxa de ocupação produtiva dos lotes.

O desafio central é institucionalizar a operação: recomenda-se estabelecer um cronograma de transferência da operação e manutenção da infraestrutura à organização de usuários, adotando o modelo de emancipação de perímetros que já aplica tarifas K1 e K2 para cobrir custos fixos e variáveis. Para garantir segurança jurídica, uma força-tarefa intersecretarial deve acelerar o atendimento das condicionantes pendentes do licenciamento ambiental junto ao NATURATINS. Por fim,

destravar o potencial de 70 % dos lotes ociosos exige um programa intensivo de assistência técnica e extensão rural focado em fruticultura de alto valor, iniciativa já apoiada por parcerias com a Unitins e pelo Programa Rota da Fruticultura.

Conclui-se que não há um modelo inerentemente superior. A adequação de cada um depende dos objetivos socioeconômicos, das condições ambientais e, crucialmente, da capacidade de superar suas vulnerabilidades intrínsecas. A falha central em ambos os casos não reside na escolha do modelo em si, mas na ausência de uma governança substantiva, caracterizada por reponsabilidade, equidade e capacidade institucional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Ficha técnica de barragens – Manuel Alves**. Brasília, DF: ANA, 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas da irrigação: uso da água na agricultura irrigada no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ATA DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO. **Ata da Reunião Ordinária sobre o Sistema Semafórico**. Formoso do Araguaia, TO: CBH-RF, 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais, Folha SC.22 Tocantins**. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1981.

CBH MANUEL ALVES. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves**. Dianópolis, TO: CBH-MA, 2021.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Projeto Irrigação: Diagnóstico do Potencial da Agricultura Irrigada no Brasil**. Brasília, DF: CNA, 2018.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Estudo mostra os desafios energéticos para a irrigação no Brasil**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/estudo-da-cna-mostra-os-desafios-energeticos-para-a-irrigacao-no-brasil>. Acesso em: 13 jun. 2025.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Caderno de Caracterização do Estado do Tocantins**. Palmas, TO: CODEVASF, 2021.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Relatório de revitalização do Formoso–Manuel Alves**. Brasília, DF: CODEVASF, 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **9º Levantamento Safra 2024/25: boletim da safra de grãos**. Brasília, DF: CONAB, 2025. Disponível em:

https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-9o-levantamento-2025. Acesso em: 19 jun. 2025.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Tocantins). **Resolução CERH/TO n.º XX, de 31 mar. 2025**. Aprova os valores e os mecanismos para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, para o exercício de 2025. Palmas, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/ResoluoCERHTOnxx_25.pdf. Acesso em: 4 abr. 2025.

COELHO, R. D.; SILVA, T. J. A. da. **Eficiência de uso da água na agricultura**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2013.

DE OLIVEIRA VERGARA, Roberta Mara; DA LUZ, Rodolfo Alves; FIGUEROA, Fernán Enrique Vergara. Dinâmica da ocupação e formação do território na região do Médio Araguaia, no sudoeste tocantinense e a expansão da produção de grãos. **Ateliê Geográfico**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 47-68, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/download/57702/34989/285137>. Acesso em: 13 jun. 2025.

DE SOUZA BORGES, Mariana et al. Conflitos e contradições na governança da bacia do Rio Formoso—Tocantins—Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Franca, v. 19, n. 3, p. 291-309, 2023. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/download/6607/1334/16748>. Acesso em: 13 jun. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Produção de arroz de terras altas no sistema de plantio direto**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1997. (Circular Técnica, 30).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manutenção de Sistemas de Irrigação Localizada**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2009. (Comunicado Técnico, 89).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1165534/1/Agricultura-Irigada-2a-ed-1.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Custo médio da irrigação localizada no cultivo de palma de óleo no Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1130643/1/Bolpd-362-Jorge-Antonini-Web.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

FAGUNDES, Fabiano. **Análise do uso da água para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Formoso**. 2021. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

FARIAS, T. L. **A outorga de direito de uso de recursos hídricos como instrumento de gestão das águas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2012.

GETIRANA, Augusto César Vieira. **Metodologia para a determinação de usuários de recursos hídricos do setor agrícola por SIG visando o planejamento de bacia hidrográfica**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Relatório de Acompanhamento do PHIMA**. Palmas: Secretaria de Estado da Infraestrutura (SEINF), 2014.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Plano Operativo do Sistema de Drenagem do PHIMA**. Palmas: Secretaria de Estado da Agricultura (SEAGRO), 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Relatório de Condicionantes da Licença de Operação do PHIMA**. Palmas: Agência Tocantinense de Transportes e Obras (AGETO), 2021.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Secretaria da Comunicação. Governo do Tocantins conclui mais de 70 % da obra de implantação da usina de energia fotovoltaica no Distrito de Irrigação Manuel Alves**. Palmas, 21 ago. 2023.

Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/governo-do-tocantins-conclui-mais-de-70-da-obra-de-implantacao-da-usina-de-energia-fotovoltaica-no-distrito-de-irrigacao-manuel-alves/78qt0gfrtn0y>. Acesso em: 4 abr. 2025.

IBRAMAR. **Diagnóstico socioambiental da bacia do Rio Manuel Alves**. Palmas, TO, 2022. Disponível em: <https://ibramar.org>. Acesso em: 13 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília, DF: INMET, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Boletim Agroclimatológico Mensal**. Brasília, DF, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Avisos Meteorológicos**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://alertas2.inmet.gov.br/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE (IWMI). **Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture**. Editado por David Molden. London: Earthscan, 2007.

KUMAR, A. et al. Direct soil evaporation in tropical humid climates: a case study. **Agricultural Water Management**, v. 235, 2020.

LIMA, Angelo José Rodrigues; ABRUCIO, Fernando Luiz; SILVA, Francisco Carlos Bezerra e. **Governança dos recursos hídricos: proposta de indicadores para acompanhar sua implementação**. São Paulo: WWF-Brasil; FGV, 2014.

MATTAR, J. A. et al. Caracterização de Gleissolos Húmicos na planície do Araguaia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 257-265, 2002.

MEDEIROS, Y. D. P. **Instrumentos de gestão participativa e a outorga de direito de uso de recursos hídricos**. In: Encontro Nacional da ANPPAS, 5., 2010, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ANPPAS, 2010.

MILLER, R. W.; GHOBLE, R. L. **Soils & their environment**. 2. ed. New York: Routledge, 2018.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Diagnóstico da Educação Profissional no Tocantins**. Brasília, DF: MEC/SETEC, 1998. Disponível em: https://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/agropec_to.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MIDR). **Projeto revitalização da bacia do Rio Manuel Alves**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MIDR). **MIDR reconhece novo polo de agricultura irrigada em Tocantins**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/midr-reconhece-novo-polo-de-agricultura-irrigada-em-tocantins>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MOLDEN, D.; MURRAY-RUST, H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN, I. A water productivity framework for understanding and action. In: KIJNE, J.W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. (Eds.). **Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement**. Wallingford: CABI Publishing, 2003. p. 1-18.

MOURA, E. M. Declividade e sua influência na seleção do método de irrigação de superfície. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 1-15, 2022.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS-USDA). **Subsurface Drains**. Washington, DC: USDA, 2010. (Conservation Practice Standard, Code 606).

NATURATINS. **Relatório de Monitoramento do Sistema GAN - Bacia do Rio Formoso**. Palmas, TO: Instituto Natureza do Tocantins, 2022.

NATURATINS. **Licença de Operação – PHIMA**. Palmas, TO: Instituto Natureza do Tocantins, 2021.

OLIVEIRA, T. J. A.; RODRIGUES, W. Planejamento espacial e o Projeto de Irrigação Manuel Alves na microrregião de Dianópolis (TO). **Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, Goiânia, v. 3, n. 2, p. 173–190, 2017.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Environmental Performance Reviews: Brazil 2024**. Paris: OECD Publishing, 2024.

PASSADOR, C. S.; CALDAS, E. L.; PASSADOR, J. L. Gestão de perímetros públicos de irrigação: um estudo de caso sobre o papel do Estado. *In*: ENCONTRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E GOVERNANÇA, 4., 2010, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: ANPAD, 2010.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 438-447, 2009.

RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. **Ramsar Sites Information Service: Ilha do Bananal**. Gland, Switzerland, 2001. Disponível em: <https://rsis.ramsar.org/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

RODRIGUES, Lineu Neiva et al. **Dinâmica da irrigação por pivôs centrais no Brasil – 2022**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. (Nota Técnica).

RODRIGUES, Lineu Neiva et al. **Agricultura irrigada no Cerrado: subsídios para o desenvolvimento sustentável**. Brasília, DF: Embrapa, 2023.

RODRIGUES, L. N. et al. Evaluation of collective water rights allocation under climate change scenarios in the Tocantins-Araguaia Basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 29, e8, 2024.

SANTOS, H. G. dos et al. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO TOCANTINS (SEAGRO). **Plano Estadual de Agricultura Irrigada do Tocantins (PEAI-TO)**. Palmas, TO: SEAGRO, 2023.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO TOCANTINS (SEAGRO). **Dados Técnicos do Reservatório Manuel Alves**. Palmas, TO: SEAGRO, 2024.

SECOM-TO – SECRETARIA DA COMUNICAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Sucesso do Projeto de Irrigação Manuel Alves ganha destaque na Agrotins 2025**. Palmas, TO, 2025. Disponível em: <https://to.gov.br>. Acesso em: 19 jun. 2025.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Irrigação inteligente: sustentabilidade e eficiência na agricultura orgânica**. Relatório de Inteligência. Curitiba: Sebrae/PR, 2025. Disponível em: <https://sebraepr.com.br/impulsiona/irrigacao-inteligente-sustentabilidade-e-eficiencia-na-agricultura-organica/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. Brasília, DF: Senar, 2019. (Coleção SENAR, 219).

SILVA, A. C. B.; LOPES, R. D. Coeficientes de cultura para subirrigação em solos tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 57, e02621, 2022.

SOLLOAGRO. **Campos agrícolas: dinâmicas e transformações no setor produtivo**. Blog SolloAgro, Piracicaba, 9 maio 2025. Disponível em: <https://solloagro.com.br/campos-agricolas-dinamicas-e-transformacoes-no-setor-produtivo/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SOUSA, K. A. et al. Território, ambiente e modo de vida: conflitos na fronteira sul da Amazônia. **Sociedade & Natureza**, v. 31, e42106, 2019.

TOCANTINS. **Resolução COEMA-TO nº 07, de 09 de agosto de 2005**. Dispõe sobre os procedimentos para o licenciamento ambiental. Palmas, TO, 2005.

TOCANTINS. **Instrução Normativa Naturatins nº 3, de 03 jul. 2019**. Dispõe sobre a Declaração de Uso Insignificante e Anuência Prévia de Uso de Recursos Hídricos. Palmas, TO: Instituto Natureza do Tocantins, 2019. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?legislacao=379225>. Acesso em: 13 jun. 2025.

TOCANTINS (Estado). Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Parecer Técnico nº 164/2011**. Processo nº 2011/6337. Análise do pedido de outorga preventiva para o Projeto Hidroagrícola Manuel Alves. Palmas, TO, 29 jun. 2011.

TOCANTINS (Estado). Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS). **Parecer Técnico nº 5883/2024/NATURATINS/GECURH/DLA**. Processo nº 2024/30130/001099. Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos – Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. Palmas, TO, 17 abr. 2024.

TOCANTINS (Estado). Instituto Natureza do Tocantins. **Portaria nº 70, de 17 de abril de 2024**. Concede Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos ao Distrito de Irrigação do Rio Formoso, para fins de irrigação de lavouras. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 6555, p. 33, 19 abr. 2024.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Relatório de Auditoria – Projeto Hidroagrícola Manuel Alves**. Acórdão 1.234/2009 – Plenário. Brasília, DF: TCU, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS (UFT). **Atlas Climatológico do Estado do Tocantins**. Palmas: UFT, 2020.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2024: water for prosperity and peace**. Paris: UNESCO World Water Assessment Programme, 2024.

WORLD BANK. **Making the Most of Scarcity: Accountability for Better Water Management Results in the Middle East and North Africa**. Washington, DC: World Bank, 2025.

ZONTA, J. H. et al. **Manejo da Irrigação: Princípios e Práticas**. Jales, SP: FATEC, 2019.