



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ANDRÉ LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**SEGURANÇA HÍDRICA DO ALTO OESTE POTIGUAR: BARRAGEM DE PAU DOS
FERROS**

PAU DOS FERROS

2026

ANDRÉ LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**SEGURANÇA HÍDRICA DO ALTO OESTE POTIGUAR: BARRAGEM DE PAU DOS
FERROS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Orientador: Alex Pinheiro Feitosa, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N972s Nunes, André Lucas de Oliveira.
Segurança Hídrica do Alto Oeste Potiguar:
Barragem de Pau dos Ferros / André Lucas de
Oliveira Nunes. - 2026.
84 f. : il.

Orientador: Alex Pinheiro Feitosa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2026.

1. segurança hídrica. 2. estados hidrológicos. 3.
reservatórios artificiais. 4. simulação de
cenários. 5. semiárido potiguar. I. Feitosa, Alex
Pinheiro, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANDRÉ LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**SEGURANÇA HÍDRICA DO ALTO OESTE POTIGUAR: BARRAGEM DE PAU DOS
FERROS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 06/07/2026.

BANCA EXAMINADORA

Alex Pinheiro Feitosa, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Daniela de Freitas Lima, Prof^ª. Dr^ª. (UFERSA)
Membro Examinador

Barbara Barbosa Tsuyuguchi, Prof^ª. Dr^ª. (UFERSA)
Membro Examinador

EPÍGRAFE

"A água é o princípio de todas as coisas."

— Tales de Mileto

RESUMO

A segurança hídrica constitui um desafio relevante para a gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro, especialmente em regiões marcadas pela irregularidade das chuvas, elevada evaporação e dependência de reservatórios artificiais. Nesse contexto, a Barragem de Pau dos Ferros desempenha papel estratégico para o abastecimento do Alto Oeste Potiguar, atendendo demandas prioritárias e usos múltiplos da água. Este estudo teve como objetivo analisar a contribuição da definição de estados hidrológicos e da simulação de cenários operacionais para o fortalecimento da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros, considerando as demandas associadas ao reservatório e sua capacidade de atendimento aos usos prioritários. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem quali-quantitativa, foi desenvolvida com base em levantamento bibliográfico, dados hidrológicos institucionais, informações da CAERN, IDIARN e DNOCS, análise espacial de áreas agrícolas no entorno do reservatório e simulações realizadas no software *LabSid AcquaNet*. Os resultados indicaram que o abastecimento humano representa a principal demanda quantificada, com vazão projetada de 294,33 L/s para 2038, enquanto a dessedentação animal corresponde a aproximadamente 270,887 m³/dia. Os usos agrícolas e a jusante foram tratados qualitativamente, devido à ausência de dados suficientes para sua quantificação precisa. A definição dos estados hidrológicos Verde, Amarelo e Vermelho permitiu relacionar os volumes armazenados a diferentes condições operacionais. As simulações, realizadas em horizonte de 24 meses, demonstraram que a adoção de medidas graduais de restrição pode prolongar a capacidade de atendimento do reservatório em cenários de escassez. Conclui-se que os estados hidrológicos e a simulação de cenários constituem instrumentos relevantes para apoiar o planejamento, a gestão preventiva e a tomada de decisão voltada à segurança hídrica regional.

Palavras-chave: segurança hídrica; estados hidrológicos; reservatórios artificiais; simulação de cenários; semiárido potiguar.

ABSTRACT

Water security is a relevant challenge for the management of water resources in the Brazilian semi-arid region, especially in regions marked by irregular rainfall, high evaporation and dependence on artificial reservoirs. In this context, the Pau dos Ferros Dam plays a strategic role in supplying the Upper West Potiguar, meeting priority demands and multiple uses of water. This study aimed to analyze the contribution of the definition of hydrological states and the simulation of operational scenarios to the strengthening of the water security of the Pau dos Ferros Dam, considering the demands associated with the reservoir and its capacity to meet priority uses. The research, of an applied nature and a qualitative-quantitative approach, was developed based on a bibliographic survey, institutional hydrological data, information from CAERN, IDIARN and DNOCS, spatial analysis of agricultural areas around the reservoir and simulations carried out in the LabSid AcquaNet software. The results indicated that human supply represents the main quantified demand, with a projected flow of 294.33 L/s for 2038, while animal watering corresponds to approximately 270.887 m³/day. Agricultural and downstream uses were treated qualitatively, due to the absence of sufficient data for their precise quantification. The definition of the hydrological states Green, Yellow and Red allowed to relate the stored volumes to different operating conditions. The simulations, carried out over a 24-month horizon, demonstrated that the adoption of gradual restriction measures can prolong the reservoir's service capacity in scenarios of scarcity. It is concluded that hydrological states and scenario simulation are relevant instruments to support planning, preventive management and decision-making aimed at regional water security.

Keywords: water security; hydrological states; artificial reservoirs; scenario simulation; semi-arid region of rio grande the north.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Adutora do Alto Oeste Potiguar saindo de Pau dos Ferros e atendendo mais 12 municípios	44
Figura 2 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.	46
Figura 3 – Histórico da Barragem de Pau dos Ferros (2000–2025)	48
Figura 4 – Áreas de produção agrícola no entorno da bacia hidráulica da Barragem de Pau dos Ferros	54
Figura 5 – Curva-guia e cenários simulados associados aos estados hidrológicos da Barragem de Pau dos Ferros.....	72
Figura 6 – Simulação do Cenário 1	75
Figura 7 – Simulação do Cenário 2	76
Figura 8 – Simulação do Cenário 3	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese do delineamento metodológico da pesquisa.....	47
Quadro 2 – Síntese dos dados hidrológicos utilizados na pesquisa.....	49
Quadro 3 – Fontes utilizadas para levantamento das demandas hídricas associadas à Barragem de Pau dos Ferros.....	51
Quadro 4 – Dados de abastecimento humano considerados na pesquisa	51
Quadro 5 – Dados de abastecimento humano considerados na pesquisa	56
Quadro 6 – Critérios adotados para definição dos estados hidrológicos da Barragem de Pau dos Ferros	61
Quadro 7 – Parâmetros utilizados na simulação de cenários no <i>AcquaNet</i>	64
Quadro 8 – Principais limitações metodológicas da pesquisa	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativo de animais identificados no entorno da Barragem.....	53
Tabela 2 – Estimativa da demanda hídrica para dessedentação animal no entorno da Barragem de Pau dos Ferros.....	53
Tabela 3 – Demandas consideradas na modelagem hidrológica	70
Tabela 4 – Percentuais de atendimento das demandas por estado hidrológico	71
Tabela 5 – Cenários operacionais utilizados na modelagem hidrológica.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
IDIARN	Instituto de Defesa e Inspeção Agropecuária do Rio Grande do Norte
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
SEMARH	Secretária Estadual de meio ambiente e recursos hídricos do Rio Grande do Norte
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
UN-Water	Organização das Nações Unidas para a Água

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
hm ³	Hectômetro cúbico
L/dia	Litros por dia
L/s	Litros por segundo
m	Metro
mm ³	Milímetro cúbico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivo Específicos.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Segurança hídrica e problemas hídricos contemporâneos	19
2.2	Segurança hídrica no semiárido brasileiro	22
2.3	Usos múltiplos da água e conflitos hídricos.....	25
2.4	Governança e gestão de recursos hídricos.....	28
2.5	Alocação negociada de água e estados hidrológicos	31
2.6	Reservatórios artificiais e infraestrutura hídrica no semiárido.....	34
2.7	Modelagem hidrológica, simulação de cenários e desempenho de reservatórios	37
2.8	Barragem de Pau dos Ferros e o contexto hídrico regional.....	40
3	METODOLOGIA.....	43
3.1	Caracterização da área de estudo	43
3.2	Delineamento metodológico da pesquisa	45
3.3	Levantamento dos dados hidrológicos.....	47
3.4	Levantamento e estimativa das demandas hídricas	50
3.4.1	Demanda para abastecimento humano	55
3.4.2	Demanda para dessedentação animal	57
3.4.3	Demanda associada à agricultura irrigada	58
3.4.4	Usos a jusante e demais usos observados.....	59
3.5	Definição dos estados hidrológicos.....	60
3.6	Simulação de cenários no <i>AcquaNet</i>	62
3.7	Tratamento, análise e limitações dos dados	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1	Consolidação das demandas hídricas associadas à Barragem de Pau dos Ferros.....	69
4.2	Estados hidrológicos e curva-guia operacional do reservatório.....	70
4.3	Simulação dos cenários de esvaziamento no <i>AcquaNet</i>.....	71
4.4	Cenários operacionais utilizados na modelagem	73
4.5	Simulação dos cenários no <i>AcquaNet</i>.....	74
4.5.1	Cenário 1 – Atendimento integral das demandas	74
4.5.2	Cenário 2 – Atendimento parcial das demandas complementares	75

4.5.3	Cenário 3 – Atendimento restritivo em condição crítica.....	76
4.6	Discussão dos resultados à luz da segurança hídrica	777
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

A água constitui um recurso essencial para a manutenção da vida, para o desenvolvimento das atividades econômicas e para a preservação dos ecossistemas. Entretanto, sua disponibilidade não depende apenas da existência física do recurso, mas também de fatores climáticos, hidrológicos, territoriais, sociais e institucionais que condicionam o acesso, a distribuição e a qualidade da água. Nesse contexto, a segurança hídrica passou a ser compreendida como a capacidade de garantir água em quantidade e qualidade adequadas para os diferentes usos, reduzindo riscos associados à escassez, ao excesso, à contaminação e à má gestão dos recursos hídricos (Grey; Sadoff, 2007; UN-Water, 2013; Melo; Johnsson, 2017).

Do ponto de vista hidrológico, a segurança hídrica está diretamente relacionada ao comportamento dos sistemas naturais e artificiais de armazenamento e distribuição da água. Em reservatórios, esse comportamento depende do equilíbrio entre entradas e saídas hídricas, envolvendo precipitação, escoamento superficial, vazões afluentes, evaporação, infiltração, retiradas para atendimento das demandas e regras operacionais adotadas (Maidment, 1993). Assim, a análise da segurança hídrica exige não apenas conhecer o volume armazenado em determinado momento, mas compreender a dinâmica do sistema ao longo do tempo, especialmente em regiões sujeitas à elevada variabilidade climática.

No Brasil, embora exista expressiva disponibilidade hídrica em termos globais, a distribuição espacial e temporal da água é marcada por profundas desigualdades. Essa condição torna algumas regiões mais vulneráveis à escassez, sobretudo aquelas que apresentam irregularidade pluviométrica, dependência de reservatórios e crescimento das demandas urbanas, rurais e produtivas (ANA, 2012; Ribeiro, 2017). Nesse cenário, a gestão dos recursos hídricos assume papel estratégico, pois permite compatibilizar oferta e demanda, estabelecer prioridades de uso, reduzir conflitos e orientar decisões em períodos de escassez.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, estabelece que a água é um bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico, devendo sua gestão proporcionar o uso múltiplo das águas. A mesma legislação determina que, em situações de escassez, o consumo humano e a dessedentação animal devem ser considerados usos prioritários (Brasil, 1997). Esses princípios são particularmente relevantes para o semiárido brasileiro, onde a limitação da disponibilidade

hídrica exige instrumentos de planejamento, monitoramento, alocação e gestão capazes de orientar a tomada de decisão.

O semiárido nordestino caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal das chuvas, elevadas taxas de evaporação, predominância de rios intermitentes e forte dependência de reservatórios artificiais para regularização da oferta de água. Segundo Cirilo (2008), a problemática dos recursos hídricos nas regiões semiáridas constitui uma questão central para a superação dos obstáculos ao desenvolvimento, uma vez que a escassez de água compromete o abastecimento humano, a produção agropecuária e a sustentabilidade das atividades econômicas. Vieira (2003) também destaca que a gestão hídrica no semiárido exige atenção especial devido à irregularidade das precipitações, à elevada evapotranspiração e ao baixo rendimento hídrico dos reservatórios.

Além dos condicionantes naturais, os desafios da segurança hídrica no semiárido envolvem aspectos sociais, institucionais e de governança. A ocorrência de secas prolongadas, o aumento das demandas e as limitações de infraestrutura podem ampliar a vulnerabilidade das populações e intensificar disputas pelo uso da água. Dias, Pessoa e Teixeira (2022) ressaltam que a gestão dos recursos hídricos no semiárido deve incorporar os riscos climáticos e fortalecer mecanismos adaptativos, capazes de lidar com incertezas e com a variabilidade das condições de disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, os reservatórios artificiais desempenham papel estratégico, pois armazenam água durante os períodos de maior disponibilidade e permitem sua utilização nos períodos de estiagem. Contudo, a existência de reservatórios, por si só, não garante segurança hídrica. É necessário que esses sistemas sejam acompanhados por instrumentos de gestão capazes de definir prioridades, avaliar demandas, monitorar volumes armazenados e estabelecer regras de operação. Entre esses instrumentos, destacam-se os estados hidrológicos, as curvas-guias e a simulação de cenários, que permitem relacionar diferentes faixas de armazenamento a medidas graduais de atendimento, restrição ou priorização dos usos da água (ANA, 2020).

A Barragem de Pau dos Ferros, também conhecida como Açude Dr. Pedro Diógenes Fernandes, insere-se nesse contexto como uma infraestrutura hídrica estratégica para o Alto Oeste Potiguar. Localizada no município de Pau dos Ferros, no Rio Grande do Norte, o reservatório integra o sistema de abastecimento regional e atende demandas associadas ao abastecimento humano, à dessedentação animal, aos usos agrícolas e a outras formas de uso no entorno e a jusante. Sua importância ultrapassa a dimensão técnica do armazenamento, pois está relacionada à dinâmica social, econômica e territorial da região.

Apesar de sua relevância, a operação da Barragem de Pau dos Ferros enfrenta desafios associados à irregularidade das chuvas, às perdas por evaporação, à redução dos volumes armazenados em períodos de estiagem e ao crescimento das demandas hídricas. Esses fatores tornam necessário o uso de instrumentos que permitam avaliar a capacidade de atendimento do reservatório sob diferentes condições de armazenamento. Assim, a definição de estados hidrológicos e a simulação de cenários operacionais tornam-se ferramentas importantes para subsidiar decisões de gestão, especialmente em situações de escassez.

Diante desse contexto, este trabalho parte do seguinte problema de pesquisa: de que forma a definição de estados hidrológicos e a simulação de cenários operacionais podem contribuir para o fortalecimento da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros e da região do Alto Oeste Potiguar?

A realização deste estudo justifica-se pela importância socioeconômica da Barragem de Pau dos Ferros para a região, bem como pela necessidade de aperfeiçoar os mecanismos de planejamento e gestão dos recursos hídricos diante de cenários de escassez cada vez mais frequentes. Além disso, a aplicação de metodologias baseadas em estados hidrológicos, curvas-guias e cenários de operação representa uma ferramenta relevante para apoiar a tomada de decisão, contribuindo para uma gestão mais eficiente, transparente e adaptativa dos recursos hídricos disponíveis.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar a contribuição da definição de estados hidrológicos e da simulação de cenários operacionais para o fortalecimento da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros, considerando as demandas hídricas associadas ao reservatório e sua capacidade de atendimento aos usos prioritários no Alto Oeste Potiguar. Busca-se, assim, fornecer subsídios técnicos que contribuam para o planejamento, a gestão e a sustentabilidade dos recursos hídricos na região estudada.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a contribuição da definição de estados hidrológicos e da simulação de cenários operacionais para o fortalecimento da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros, considerando as demandas hídricas associadas ao reservatório e sua capacidade de atendimento aos usos prioritários no Alto Oeste Potiguar.

1.1.2. Objetivo Específicos

- Caracterizar o comportamento hidrológico da Barragem de Pau dos Ferros a partir do histórico de armazenamento do reservatório;
- Identificar e quantificar as principais demandas hídricas associadas à Barragem de Pau dos Ferros, considerando o abastecimento humano, a dessedentação animal, os usos agrícolas e possíveis usos a jusante;
- Definir estados hidrológicos para a Barragem de Pau dos Ferros, com base nos volumes armazenados e nas condições operacionais do reservatório;
- Simular cenários de disponibilidade hídrica considerando diferentes estratégias de atendimento das demandas;
- Avaliar as implicações dos cenários simulados para a segurança hídrica do Alto Oeste Potiguar e para o apoio à tomada de decisão na gestão do reservatório.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Segurança hídrica e problemas hídricos contemporâneos

A água constitui um recurso essencial para a manutenção da vida, para o desenvolvimento das atividades econômicas e para a preservação dos ecossistemas. Apesar de sua importância, a disponibilidade hídrica tem sido cada vez mais pressionada pelo crescimento populacional, pela expansão das atividades produtivas, pela degradação ambiental, pelas desigualdades no acesso à água e pelos efeitos das mudanças climáticas. Nesse cenário, a segurança hídrica passou a ocupar posição de destaque nos debates internacionais e nacionais relacionados à gestão dos recursos naturais, sendo reconhecida como um dos elementos fundamentais para o desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2012; UN-Water, 2013; Melo; Johnsson, 2017).

A consolidação do conceito de segurança hídrica ocorreu de forma gradual ao longo das últimas décadas, acompanhando a evolução das discussões sobre sustentabilidade ambiental, gestão integrada dos recursos hídricos e redução de riscos associados à água. Inicialmente, as preocupações estavam concentradas na garantia da oferta de água para abastecimento humano e produção de alimentos. Com o avanço dos estudos sobre recursos hídricos, o conceito passou a incorporar aspectos mais amplos, relacionados à qualidade da água, à proteção dos ecossistemas, à prevenção de eventos extremos, à governança e à capacidade institucional de gerir situações de escassez (Grey; Sadoff, 2007; Melo; Johnsson, 2017).

Segundo Grey e Sadoff (2007), a segurança hídrica está relacionada à capacidade das sociedades de aproveitarem os benefícios produtivos da água e, ao mesmo tempo, reduzirem os riscos associados à sua ocorrência em excesso, escassez ou contaminação. Essa compreensão amplia o debate para além da simples disponibilidade física do recurso, uma vez que considera também a capacidade de planejamento, infraestrutura, gestão e adaptação dos sistemas hídricos diante das incertezas climáticas e socioeconômicas.

A definição proposta pela Organização das Nações Unidas, por meio da UN-Water, ampliou significativamente a compreensão do tema ao considerar que a segurança hídrica envolve a capacidade de garantir acesso sustentável à água, em quantidade e qualidade adequadas, para sustentar a vida humana, o desenvolvimento socioeconômico e a manutenção dos ecossistemas, além de promover proteção contra desastres relacionados à água (UN-Water, 2013). Essa perspectiva evidencia que a segurança hídrica não se limita à existência de

água disponível, mas depende também de fatores sociais, econômicos, ambientais e institucionais que influenciam sua distribuição, seu uso e sua conservação.

No contexto brasileiro, as discussões sobre segurança hídrica ganharam maior relevância em decorrência das recorrentes crises de abastecimento registradas em diferentes regiões do país. Embora o Brasil possua expressiva disponibilidade hídrica em termos globais, sua distribuição espacial é marcada por profundas desigualdades, resultando em situações de escassez em diversas áreas, especialmente na região semiárida e em zonas de maior pressão populacional e econômica (ANA, 2012; Ribeiro, 2017). Ribeiro (2017) destaca que a segurança hídrica deve ser compreendida como uma condição estratégica para o desenvolvimento nacional, pois influencia diretamente a estabilidade social, o crescimento econômico e a conservação ambiental.

A segurança hídrica também deve ser compreendida a partir de sua relação com o direito humano à água. Saito (2018) observa que o acesso à água limpa e segura está diretamente associado à dignidade humana e ao exercício de outros direitos fundamentais. De modo semelhante, Monteiro, Costa e Pereira (2023) destacam que a falta de acesso à água potável e ao saneamento compromete a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico das populações, especialmente dos grupos mais vulneráveis. Dessa forma, a segurança hídrica não se restringe a uma questão técnica de oferta e demanda, mas envolve justiça social, equidade, governança e responsabilidade pública.

A compreensão contemporânea da segurança hídrica envolve múltiplas dimensões interdependentes. A primeira delas está relacionada à disponibilidade hídrica, entendida como a existência de água em quantidade suficiente para atender às necessidades humanas, produtivas e ambientais. Entretanto, a simples existência do recurso não garante sua utilização adequada, sendo necessário considerar aspectos relacionados ao acesso, à qualidade da água, à eficiência dos sistemas de distribuição e à capacidade de gestão dos recursos disponíveis (UN-Water, 2013; ANA, 2013).

Outra dimensão fundamental refere-se à qualidade hídrica. A contaminação dos corpos d'água compromete o abastecimento humano, aumenta os custos de tratamento e reduz a disponibilidade efetiva dos recursos hídricos. Nesse sentido, a segurança hídrica depende não apenas da quantidade de água armazenada ou disponível, mas também da manutenção de padrões adequados de qualidade capazes de atender aos diferentes usos previstos, incluindo consumo humano, atividades produtivas e conservação dos ecossistemas (UNESCO, 2012; Saito, 2018).

Além das dimensões quantitativa e qualitativa, a governança da água representa elemento central para a promoção da segurança hídrica. A gestão eficiente dos recursos hídricos exige instituições capazes de planejar, monitorar, regular e articular os diversos usos da água, garantindo equilíbrio entre oferta e demanda. Oliveira et al. (2022) ressaltam que os desafios relacionados à água frequentemente decorrem menos da escassez física do recurso e mais das limitações existentes nos modelos de gestão e governança adotados pelos sistemas hídricos. Essa interpretação também se aproxima da discussão apresentada por Dias, Pessoa e Teixeira (2022), ao apontarem que a segurança hídrica, especialmente no semiárido, depende da capacidade institucional de lidar com riscos, incertezas e mudanças climáticas.

A análise da segurança hídrica também envolve os conceitos de vulnerabilidade, risco e resiliência. A vulnerabilidade hídrica está associada ao grau de suscetibilidade de uma região ou sistema aos impactos provocados pela escassez de água, pela má qualidade do recurso ou por eventos hidrológicos extremos. Essa condição resulta da combinação entre fatores naturais e antrópicos, incluindo características climáticas, infraestrutura disponível, capacidade institucional, desigualdades sociais e perfil socioeconômico da população (Pereira; Rodriguez, 2022).

O risco hídrico, por sua vez, está relacionado à probabilidade de ocorrência de eventos capazes de comprometer a disponibilidade ou a qualidade da água. Secas prolongadas, enchentes, contaminação dos mananciais, falhas operacionais em sistemas de abastecimento e aumento das demandas constituem exemplos de situações que podem gerar riscos significativos para a segurança hídrica. Pereira e Rodriguez (2022) destacam que os efeitos das mudanças climáticas tendem a ampliar esses riscos, aumentando a frequência e a intensidade dos eventos extremos em diversas regiões do planeta.

Frente a esse cenário, a resiliência hídrica emerge como um componente essencial da segurança hídrica. Sistemas resilientes apresentam maior capacidade de absorver impactos, adaptar-se às mudanças e recuperar-se após eventos adversos. No campo da avaliação de sistemas de recursos hídricos, Hashimoto, Stedinger e Loucks (1982) contribuem ao relacionar o desempenho desses sistemas aos critérios de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, permitindo analisar não apenas se um sistema atende às demandas, mas também como ele se comporta diante de falhas e qual a magnitude dos impactos quando essas falhas ocorrem.

A integração entre disponibilidade hídrica, qualidade da água, governança, redução de riscos e fortalecimento da resiliência constitui, portanto, a base da segurança hídrica contemporânea. Essa abordagem torna-se particularmente relevante em regiões sujeitas à

escassez hídrica e elevada variabilidade climática, como o semiárido brasileiro. Nesses territórios, a compreensão dos fatores que influenciam a disponibilidade e o uso da água torna-se indispensável para a formulação de estratégias capazes de garantir maior estabilidade no abastecimento e sustentabilidade dos sistemas hídricos.

Considerando as características ambientais e socioeconômicas do semiárido nordestino, a discussão sobre segurança hídrica adquire relevância ainda maior, exigindo a análise das condições específicas que influenciam a disponibilidade de água na região. Dessa forma, torna-se necessário compreender como os fatores climáticos, hidrológicos, sociais e institucionais contribuem para a construção dos cenários de vulnerabilidade hídrica observados no semiárido brasileiro.

2.2 Segurança hídrica no semiárido brasileiro

A partir da compreensão da segurança hídrica como uma condição associada à disponibilidade, ao acesso, à qualidade da água, à governança e à capacidade de resposta diante de riscos, torna-se necessário analisar as particularidades do semiárido brasileiro. Nessa região, os desafios relacionados à água assumem maior complexidade em razão da combinação entre fatores climáticos, hidrológicos, sociais e institucionais, os quais condicionam a disponibilidade hídrica e influenciam diretamente a segurança das populações e dos sistemas produtivos.

O semiárido brasileiro caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal das precipitações, pelas elevadas temperaturas, pelas altas taxas de evapotranspiração e pela predominância de rios intermitentes. Essas condições reduzem a disponibilidade natural de água e dificultam a regularização das vazões ao longo do ano. Vieira (2003) destaca que, nas regiões áridas e semiáridas, a gestão hídrica torna-se mais necessária em razão da escassez das reservas naturais de água e, sobretudo, da irregularidade das precipitações e dos escoamentos superficiais. O autor também ressalta que o semiárido apresenta elevada evapotranspiração, rios intermitentes, frequência significativa de secas e baixo rendimento hídrico dos reservatórios, fatores que ampliam a vulnerabilidade regional.

No Nordeste semiárido, a baixa disponibilidade hídrica não decorre apenas da reduzida ocorrência de chuvas, mas também das características físicas do território. Cirilo (2008) explica que a região apresenta limitações associadas à variabilidade das precipitações, à predominância de solos rasos, à ocorrência de rochas cristalinas e à presença de rios

temporários. Essa configuração dificulta a formação de reservas hídricas naturais permanentes e reforça a dependência de estruturas artificiais de armazenamento, como açudes, barragens, poços, cisternas e sistemas adutores.

A elevada evaporação representa outro fator crítico para a segurança hídrica no semiárido. Em reservatórios superficiais, especialmente os de pequeno e médio porte, parte significativa da água armazenada pode ser perdida para a atmosfera antes de ser utilizada. Nesse sentido, Vieira (2003) observa que o rendimento hídrico dos reservatórios de acumulação no semiárido tende a ser reduzido em função das altas taxas de evaporação. Essa condição reforça a necessidade de planejamento operacional, monitoramento dos volumes armazenados e adoção de estratégias que aumentem a eficiência do uso da água.

Além das limitações naturais, a segurança hídrica no semiárido está relacionada às formas históricas de ocupação, ao acesso desigual à infraestrutura e às políticas públicas adotadas para o enfrentamento das secas. Durante muito tempo, predominou uma abordagem baseada no “combate à seca”, centrada na construção de grandes obras hidráulicas e em ações emergenciais. Embora essas intervenções tenham ampliado a capacidade de armazenamento e abastecimento em várias áreas, nem sempre foram suficientes para reduzir as desigualdades no acesso à água, sobretudo em comunidades rurais dispersas e em territórios com menor capacidade institucional.

A literatura mais recente aponta a necessidade de superar a lógica exclusiva do combate à seca e fortalecer a perspectiva da convivência com o semiárido. Essa abordagem reconhece as características naturais da região e busca desenvolver estratégias adaptadas às suas condições ambientais, sociais e econômicas. Souza et al. (2016) destacam que tecnologias sociais, como cisternas, barragens subterrâneas, destiladores solares, fossas sépticas e sistemas de reúso de água, têm contribuído para ampliar o acesso à água e fortalecer a permanência das famílias rurais no semiárido. Essas soluções, embora não substituam os grandes sistemas de abastecimento, complementam a infraestrutura hídrica regional e reduzem vulnerabilidades locais.

Nesse mesmo sentido, Cirilo (2008) observa que as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido devem considerar diferentes alternativas de obtenção e conservação da água, incluindo cisternas, poços, barragens subterrâneas, dessalinização, reúso de águas servidas e transporte de água a grandes distâncias. A diversidade dessas alternativas demonstra que a segurança hídrica no semiárido não depende de uma única solução, mas da combinação entre infraestrutura, gestão, tecnologias apropriadas e participação social.

A dimensão social da segurança hídrica também é fundamental para compreender o semiárido. Silva, Leite e Souza (2023) afirmam que a crise hídrica é multidimensional e envolve fatores demográficos, meteorológicos, ambientais, políticos, econômicos, educacionais e culturais. Para os autores, os principais determinantes da crise concentram-se na dimensão sociopolítica, pois a água, por sua importância e limitada disponibilidade, também se torna instrumento de poder e objeto de disputas. Essa análise reforça que a insegurança hídrica não pode ser explicada apenas pela escassez física do recurso, mas também pelas desigualdades de acesso, pelas fragilidades da governança e pela forma como as políticas públicas são implementadas.

As mudanças climáticas tendem a intensificar esses desafios. Dias, Pessoa e Teixeira (2022) destacam que a segurança hídrica no semiárido deve incorporar os riscos climáticos, pois os cenários futuros apontam para maior frequência e intensidade de secas, aumento da aridez e comprometimento da disponibilidade de água. Os autores também ressaltam que o episódio de seca ocorrido entre 2012 e 2017 evidenciou a vulnerabilidade dos sistemas hídricos do semiárido, com diversos reservatórios atingindo níveis críticos e várias cidades enfrentando situações de colapso no abastecimento.

Pereira e Rodriguez (2022) também chamam atenção para o fato de que as mudanças climáticas ampliam as vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil, especialmente em regiões que já apresentam baixa disponibilidade de água, elevada exposição a eventos extremos e limitações de infraestrutura. No semiárido, essa condição exige maior capacidade de planejamento, monitoramento e adaptação, uma vez que as experiências passadas podem não ser suficientes para orientar a gestão diante de cenários climáticos mais incertos.

Diante desse contexto, a segurança hídrica no semiárido brasileiro depende da integração entre infraestrutura hídrica, gestão eficiente, tecnologias sociais, governança participativa e adaptação climática. Reservatórios, adutoras e obras de integração hídrica são importantes para ampliar a oferta e reduzir riscos de desabastecimento, mas precisam estar associados a mecanismos de controle das demandas, uso racional da água, monitoramento contínuo e definição de regras operacionais em períodos de escassez. Essa articulação é especialmente relevante em sistemas hídricos estratégicos, como a Barragem de Pau dos Ferros, cuja operação influencia o abastecimento urbano, a dessedentação animal, os usos produtivos e a segurança hídrica regional.

Assim, compreender a segurança hídrica no semiárido requer considerar simultaneamente os condicionantes naturais da região e os elementos sociais, políticos e institucionais que interferem no acesso e na gestão da água. Essa discussão conduz ao

próximo aspecto do referencial teórico: os usos múltiplos da água e os conflitos hídricos, uma vez que a limitação da oferta, associada ao crescimento das demandas, torna indispensável compreender como os diferentes usuários disputam, negociam e compartilham os recursos disponíveis.

2.3 Usos múltiplos da água e conflitos hídricos

A partir das condições apresentadas no tópico anterior, observa-se que a segurança hídrica no semiárido brasileiro não depende apenas da existência de água armazenada, mas também da forma como esse recurso é distribuído entre os diferentes usos. Em regiões marcadas por elevada variabilidade climática e disponibilidade limitada, a gestão dos usos múltiplos da água torna-se um dos principais desafios para a redução de vulnerabilidades e para a prevenção de conflitos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, estabelece que a água é um bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico. A mesma legislação determina que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas e que, em situações de escassez, o consumo humano e a dessedentação animal devem ser considerados usos prioritários (Brasil, 1997). Esse princípio é especialmente relevante no semiárido, onde os períodos de estiagem podem reduzir drasticamente a disponibilidade dos reservatórios e exigir a adoção de medidas de controle, restrição ou priorização de usos.

Os usos múltiplos da água envolvem diferentes finalidades, como abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, atividades industriais, pesca, lazer, manutenção dos ecossistemas e outros usos produtivos. No entanto, quando a disponibilidade hídrica é insuficiente para atender simultaneamente todas as demandas, podem surgir disputas entre usuários e setores econômicos. Nesse sentido, a água deixa de ser apenas um recurso natural e passa a constituir também um elemento de interesse social, econômico e político, cuja distribuição envolve decisões institucionais, critérios de prioridade e mecanismos de negociação.

Vieira (2003) destaca que, no semiárido, o uso extensivo da água, associado à demanda pulverizada e ao grande número de usuários, pode favorecer o desperdício, o uso inadequado e a ampliação dos períodos de escassez. Essa condição reforça a importância de sistemas de gestão capazes de compatibilizar a oferta disponível com as demandas existentes,

principalmente em reservatórios utilizados para diferentes finalidades. Assim, os conflitos hídricos não decorrem apenas da ausência de água, mas também da dificuldade de organizar seu uso de forma planejada, equitativa e transparente.

A literatura sobre governança da água aponta que a crise hídrica possui caráter multidimensional, envolvendo fatores ambientais, sociais, econômicos e políticos. Silva, Leite e Souza (2023) afirmam que, por sua importância e limitada disponibilidade, a água também se configura como instrumento de poder, tornando sua gestão vulnerável às decisões políticas e às desigualdades sociais. Desse modo, os conflitos pelo uso da água podem expressar não apenas a escassez física do recurso, mas também fragilidades institucionais, assimetrias de acesso e baixa participação social nos processos decisórios.

No mesmo sentido, Ruscheinsky (2018) observa que a variabilidade da disponibilidade hídrica pode se transformar em expressão concreta de conflito, especialmente quando os recursos existentes não são suficientes para atender às demandas dos múltiplos usuários. Nesses casos, atividades como irrigação, abastecimento urbano, dessedentação animal e usos econômicos passam a competir pelo mesmo recurso, exigindo mecanismos de gestão que permitam negociar prioridades, estabelecer regras e reduzir tensões entre os diferentes atores envolvidos.

A intensificação das mudanças climáticas tende a agravar esse cenário. Dias, Pessoa e Teixeira (2022) ressaltam que os sistemas hídricos do Rio Grande do Norte ainda enfrentam desafios para consolidar uma governança adaptativa capaz de responder aos riscos climáticos e garantir segurança hídrica em contextos de incerteza. Essa análise dialoga com Milhorange et al. (2019), ao indicarem que políticas setoriais pouco integradas podem ampliar conflitos entre segurança hídrica, alimentar, energética e socioambiental, principalmente quando grandes projetos ou usos produtivos não são articulados com as necessidades locais e com a capacidade real dos sistemas hídricos.

No caso dos reservatórios do semiárido, os conflitos tendem a se intensificar quando há redução dos volumes armazenados. Em períodos de normalidade hídrica, os usos podem coexistir com menor pressão sobre o sistema; entretanto, em situações de atenção ou criticidade, a manutenção do atendimento integral a todos os usos pode comprometer a segurança do abastecimento humano e aumentar o risco de colapso hídrico. Por isso, a definição de prioridades e a adoção de regras operacionais são fundamentais para assegurar que os usos essenciais sejam preservados.

No contexto da Barragem de Pau dos Ferros, essa discussão assume importância direta. O reservatório atende múltiplas demandas, com destaque para o abastecimento urbano,

a dessedentação animal, as atividades agrícolas no entorno da bacia hidráulica e possíveis usos localizados a jusante. No próprio trabalho, os resultados indicam que o abastecimento urbano corresponde ao principal uso da água armazenada, enquanto a dessedentação animal, a agricultura e os usos a jusante também compõem o conjunto de demandas consideradas na análise hidrológica. Essa característica reforça a condição da barragem como infraestrutura estratégica para a segurança hídrica regional e para o desenvolvimento socioeconômico do Alto Oeste Potiguar.

Fernandes e Lacerda (2022), ao analisarem a demanda, a oferta e a gestão hídrica da Barragem de Pau dos Ferros, destacam a relevância do reservatório para o atendimento das necessidades locais e regionais. De forma complementar, Santos, Estevam e Barreto Filho (2024) apontam que a barragem é percebida pelos atores sociais como elemento de influência para o desenvolvimento local, demonstrando que sua importância ultrapassa a dimensão técnica do armazenamento e alcança aspectos sociais, econômicos e territoriais.

Dessa forma, a gestão dos usos múltiplos da água exige instrumentos capazes de organizar a distribuição do recurso de acordo com a disponibilidade hídrica e com os níveis de prioridade definidos legal e tecnicamente. A identificação e a quantificação das demandas, portanto, são etapas essenciais para compreender a pressão exercida sobre o reservatório e subsidiar decisões relacionadas à operação do sistema. No caso da Barragem de Pau dos Ferros, essa análise permite avaliar em que medida o reservatório é capaz de atender aos diferentes usos e em quais situações se torna necessária a adoção de medidas graduais de restrição.

Nesse sentido, os conflitos hídricos não devem ser compreendidos apenas como disputas explícitas entre usuários, mas também como situações potenciais de tensão geradas pela incompatibilidade entre oferta e demanda. A gestão preventiva desses conflitos depende de informações atualizadas, participação dos usuários, definição de prioridades e adoção de instrumentos de alocação da água. Essa discussão conduz ao próximo tópico, no qual serão abordadas a governança e a gestão dos recursos hídricos como mecanismos fundamentais para organizar os usos múltiplos, reduzir conflitos e fortalecer a segurança hídrica em sistemas estratégicos do semiárido.

2.4 Governança e gestão de recursos hídricos

A discussão sobre os usos múltiplos da água e os conflitos hídricos evidencia a necessidade de mecanismos institucionais capazes de organizar a relação entre disponibilidade, demanda e prioridades de uso. Em regiões sujeitas à escassez, como o semiárido brasileiro, a gestão dos recursos hídricos não pode se restringir à ampliação da oferta de água, sendo necessário fortalecer instrumentos de planejamento, monitoramento, regulação e participação social. Nesse contexto, a governança hídrica assume papel central para a construção de decisões mais transparentes, integradas e compatíveis com a realidade dos sistemas hídricos.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil passou por mudanças significativas com a promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa legislação estabeleceu princípios fundamentais para a gestão das águas, como o reconhecimento da água como bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico, além da adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e da gestão descentralizada e participativa (Brasil, 1997).

A Política Nacional de Recursos Hídricos também define que a gestão deve proporcionar o uso múltiplo das águas e que, em situações de escassez, o consumo humano e a dessedentação animal devem ser priorizados (Brasil, 1997). Esse princípio dialoga diretamente com a realidade dos reservatórios do semiárido, nos quais a limitação da disponibilidade hídrica exige critérios claros para a tomada de decisão, sobretudo quando diferentes usuários dependem de uma mesma fonte de abastecimento.

Como forma de operacionalizar esses princípios, a Lei nº 9.433/1997 estabeleceu instrumentos de gestão voltados ao planejamento, ao controle e ao monitoramento dos recursos hídricos. Entre eles, destacam-se os planos de recursos hídricos, a outorga dos direitos de uso da água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de qualidade, a cobrança pelo uso da água e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Esses instrumentos permitem maior conhecimento sobre a disponibilidade hídrica, controle das demandas existentes, definição de prioridades e formulação de estratégias voltadas à conservação dos recursos hídricos.

Os planos de recursos hídricos constituem instrumentos de planejamento que orientam a gestão em diferentes escalas territoriais, estabelecendo diagnósticos, metas e programas de ação. A outorga, por sua vez, funciona como mecanismo de controle quantitativo e qualitativo

dos usos, permitindo ao poder público regular as captações e reduzir conflitos entre usuários. Já o sistema de informações contribui para subsidiar decisões técnicas, pois reúne dados sobre disponibilidade, demanda, qualidade da água e condições dos sistemas hídricos. Nessa perspectiva, a ANA (2012) destaca a importância da produção e da sistematização de informações para o acompanhamento da situação dos recursos hídricos no país, enquanto a ANA (2013) reforça a necessidade de compreender os usos consuntivos da água para aperfeiçoar o planejamento e a gestão das demandas.

Paralelamente aos instrumentos de gestão, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos estrutura a articulação entre os diferentes órgãos e entidades envolvidos na administração das águas. Esse sistema é composto por conselhos de recursos hídricos, comitês de bacia hidrográfica, agências de água e órgãos gestores federais e estaduais. A integração entre essas instâncias busca fortalecer a governança hídrica e ampliar a participação dos diversos segmentos sociais nos processos decisórios (Brasil, 1997).

A governança hídrica pode ser compreendida como o conjunto de normas, instituições, instrumentos e processos responsáveis por orientar a tomada de decisão relacionada aos recursos hídricos. Enquanto a gestão está mais associada à execução de ações, operações e instrumentos técnicos, a governança envolve a coordenação entre diferentes atores, setores e escalas institucionais. Assim, a governança não substitui a gestão, mas a qualifica, ao favorecer a participação, a negociação, a transparência e a cooperação entre poder público, usuários da água e sociedade civil.

No semiárido, essa articulação é ainda mais necessária devido à irregularidade climática, à dependência de reservatórios e à coexistência de diferentes demandas em sistemas hídricos limitados. Vieira (2003) destaca que a gestão integrada de recursos hídricos no semiárido envolve desafios como planejamento integrado, articulação interinstitucional, participação da sociedade, outorga, controle ambiental e gerenciamento de riscos. Para o autor, a água deve ser tratada de forma multidisciplinar e vinculada à gestão ambiental e ao desenvolvimento sustentável, pois os problemas hídricos da região envolvem tanto condicionantes físicos quanto aspectos institucionais e sociais.

Amaral (2020) também ressalta que a governança hídrica no semiárido deve estar associada à segurança hídrica, uma vez que a escassez e a variabilidade climática exigem decisões planejadas, participativas e capazes de reduzir vulnerabilidades. Nessa perspectiva, a governança não se limita à existência de instituições formais, mas depende da capacidade dessas instituições de produzir respostas adequadas diante de conflitos, períodos de estiagem e incertezas quanto à disponibilidade futura de água.

A participação social constitui um dos pilares da governança hídrica brasileira. Os Comitês de Bacia Hidrográfica representam espaços institucionais de diálogo entre poder público, usuários da água e sociedade civil, permitindo que os diferentes interesses sejam considerados nos processos decisórios. Essa participação é importante porque decisões sobre alocação, restrição ou priorização de usos podem afetar diretamente comunidades, atividades econômicas e serviços essenciais. Silva, Leite e Souza (2023), ao analisarem a governança da água em comunidades rurais do semiárido, evidenciam que a ausência ou fragilidade da participação política dos moradores pode limitar a efetividade da gestão hídrica e aprofundar desigualdades no acesso à água.

A governança hídrica também precisa ser compreendida em sua dimensão adaptativa. Dias, Pessoa e Teixeira (2022) afirmam que, diante das mudanças climáticas, a gestão dos recursos hídricos deve ser mais flexível e capaz de operar em cenários de incerteza. Para os autores, a governança adaptativa pressupõe produção de informações confiáveis, monitoramento sistemático, gestão de riscos, participação social, aprendizagem institucional e capacidade de ajustar regras e estratégias conforme as mudanças ambientais. Essa abordagem é relevante para o Rio Grande do Norte, onde os sistemas hídricos estão sujeitos a secas recorrentes, variabilidade pluviométrica e pressões crescentes sobre os reservatórios.

A integração entre políticas públicas também é fundamental para a governança dos recursos hídricos. Milhorange et al. (2019) destacam que estratégias setoriais pouco articuladas podem ampliar conflitos entre segurança hídrica, alimentar, energética e socioambiental, especialmente em regiões semiáridas. De modo complementar, Fausto et al. (2026) observam que a segurança hídrica depende da superação de práticas fragmentadas e da adoção de estratégias integradas de planejamento e gestão. Embora esses autores analisem contextos distintos, suas contribuições reforçam que a água deve ser gerida de forma transversal, considerando suas relações com o território, a infraestrutura, os usos produtivos, o saneamento, o meio ambiente e as necessidades sociais.

Dessa forma, a governança e a gestão dos recursos hídricos devem atuar de maneira complementar. A gestão fornece os instrumentos técnicos e administrativos necessários ao controle dos usos e ao planejamento das ações, enquanto a governança possibilita que essas decisões sejam construídas de forma participativa, integrada e legitimada socialmente. Essa articulação é essencial para reservatórios estratégicos do semiárido, como a Barragem de Pau dos Ferros, cuja operação envolve o atendimento a múltiplos usos e a necessidade de reduzir riscos de desabastecimento.

No caso da Barragem de Pau dos Ferros, a governança hídrica torna-se indispensável para compatibilizar o abastecimento humano, a dessedentação animal, os usos agrícolas e demais demandas associadas ao reservatório. A existência de instrumentos de gestão, informações atualizadas, participação dos usuários e critérios operacionais bem definidos contribui para decisões mais seguras e preventivas. Essa discussão conduz ao próximo tópico, no qual serão abordadas a alocação negociada de água e a definição de estados hidrológicos como estratégias de apoio à tomada de decisão em reservatórios sujeitos à escassez.

2.5 Alocação negociada de água e estados hidrológicos

A governança e a gestão dos recursos hídricos, discutidas no tópico anterior, tornam-se mais efetivas quando associadas a instrumentos capazes de orientar decisões em situações de escassez. No caso dos reservatórios do semiárido, onde a disponibilidade hídrica pode variar rapidamente em função das chuvas irregulares, da evaporação elevada e do crescimento das demandas, é necessário estabelecer critérios técnicos e institucionais que indiquem como a água deve ser utilizada em diferentes condições de armazenamento. Nesse contexto, a alocação negociada de água e a definição de estados hidrológicos constituem estratégias importantes para reduzir conflitos, organizar prioridades e fortalecer a segurança hídrica.

A alocação negociada de água pode ser compreendida como um processo de pactuação entre o órgão gestor, os usuários da água e demais atores envolvidos, com o objetivo de definir regras de uso compatíveis com a disponibilidade hídrica de determinado sistema. Esse instrumento busca ajustar as demandas aos volumes disponíveis, especialmente em reservatórios estratégicos sujeitos a períodos de estiagem. Assim, a alocação negociada aproxima a dimensão técnica da gestão da dimensão participativa da governança, pois permite que as decisões sobre o uso da água sejam discutidas, formalizadas e acompanhadas pelos diferentes interessados.

No Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico regulamentou o Termo de Alocação de Água por meio da Resolução ANA nº 46, de 26 de outubro de 2020. Essa resolução estabelece procedimentos para a alocação de água em sistemas hídricos com corpos de água de domínio da União, considerando a disponibilidade hídrica, os usos existentes, os riscos de escassez e a necessidade de compatibilização entre oferta e demanda (ANA, 2020). Ainda que cada sistema hídrico apresente particularidades, o princípio central da alocação

consiste em definir, de forma transparente, quanto de água poderá ser utilizado, por quem, em que período e sob quais condições.

A alocação negociada dialoga diretamente com os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos, especialmente no que se refere à gestão descentralizada, participativa e orientada aos usos múltiplos da água. A Lei nº 9.433/1997 estabelece que, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos deve ser o consumo humano e a dessedentação animal (Brasil, 1997). Dessa forma, os processos de alocação precisam considerar não apenas critérios técnicos de disponibilidade, mas também prioridades legais e sociais, de modo a garantir maior segurança ao abastecimento essencial.

Em regiões semiáridas, a alocação negociada assume papel ainda mais relevante, pois os reservatórios frequentemente atendem demandas distintas e, em alguns casos, concorrentes. Abastecimento urbano, dessedentação animal, irrigação, atividades produtivas e usos a jusante podem depender de uma mesma fonte hídrica. Quando o volume armazenado diminui, torna-se necessário definir regras de operação que reduzam o risco de colapso e orientem eventuais restrições. Nesse sentido, Vieira (2003) destaca que a gestão integrada no semiárido deve lidar com desafios relacionados à participação social, à outorga, ao uso racional da água e ao gerenciamento de risco, elementos diretamente associados aos processos de alocação.

Os estados hidrológicos complementam esse processo ao estabelecerem uma forma objetiva de classificar a situação de um reservatório com base em seus volumes armazenados. Segundo a Nota Técnica ANA nº 11/2020, os estados hidrológicos são utilizados para definir faixas de armazenamento e orientar a elaboração de curvas-guias para reservatórios estratégicos (ANA, 2020). Essas faixas permitem indicar se o sistema se encontra em condição favorável, de atenção, de alerta ou de criticidade, servindo como referência para a adoção de medidas graduais de gestão.

A principal função dos estados hidrológicos é transformar dados de armazenamento em informações úteis para a tomada de decisão. Em vez de avaliar apenas o volume absoluto disponível em determinado momento, a gestão passa a considerar faixas operacionais previamente definidas, capazes de indicar o nível de segurança ou vulnerabilidade do sistema. Assim, quando o reservatório se encontra em estado de normalidade, as demandas podem ser atendidas com menor restrição; quando se aproxima de estados de atenção ou alerta, torna-se necessário intensificar o monitoramento e promover medidas de racionalização; em situações críticas, podem ser aplicadas restrições mais severas, preservando os usos prioritários.

Essa lógica contribui para tornar a operação dos reservatórios mais previsível e transparente. Ao associar cada estado hidrológico a determinadas regras de uso, os gestores e

usuários passam a compreender previamente quais medidas poderão ser adotadas em cada condição de armazenamento. Isso reduz a tomada de decisão improvisada em momentos de crise e favorece uma gestão preventiva, baseada em critérios técnicos e pactuados. Para Dias, Pessoa e Teixeira (2022), a gestão dos recursos hídricos no semiárido deve incorporar mecanismos adaptativos, capazes de lidar com incertezas climáticas, riscos e mudanças nas condições de disponibilidade hídrica.

A definição dos estados hidrológicos também está relacionada à construção de curvas-guias. As curvas-guias representam referências operacionais que indicam volumes mínimos ou desejáveis para determinados períodos, considerando o comportamento esperado do reservatório, as demandas existentes e os riscos de escassez. Dessa forma, elas auxiliam no acompanhamento do sistema ao longo do tempo e permitem avaliar se o volume armazenado está acima ou abaixo do patamar considerado seguro para o atendimento das demandas.

No caso dos reservatórios estratégicos do semiárido, essa ferramenta é especialmente importante porque os volumes armazenados não dependem apenas das retiradas realizadas, mas também da ocorrência irregular das chuvas e das perdas por evaporação. Como apontado por Cirilo (2008), a política de acumulação de água em açudes enfrenta limitações associadas aos elevados índices de evaporação, sobretudo em reservatórios menores ou sujeitos a estiagens prolongadas. Assim, os estados hidrológicos e as curvas-guias ajudam a antecipar riscos e a orientar medidas de controle antes que o sistema atinja níveis críticos.

A aplicação desses instrumentos também contribui para a redução de conflitos pelo uso da água. Quando os critérios de operação são definidos previamente e divulgados aos usuários, as decisões sobre restrição ou priorização de usos tornam-se mais compreensíveis e socialmente legitimadas. Essa perspectiva dialoga com Silva, Leite e Souza (2023), ao destacarem que a governança da água depende da participação dos atores sociais e da construção de processos decisórios capazes de reduzir desigualdades e fragilidades no acesso ao recurso.

No contexto da Barragem de Pau dos Ferros, a alocação negociada de água e os estados hidrológicos são particularmente relevantes, pois o reservatório atende demandas essenciais para o Alto Oeste Potiguar. A definição de faixas operacionais permite relacionar o volume armazenado à capacidade de atendimento dos usos prioritários, especialmente o abastecimento humano e a dessedentação animal. Além disso, possibilita avaliar em que condições as demais demandas podem ser mantidas, reduzidas ou restringidas, conforme o nível de armazenamento do reservatório.

Dessa forma, a utilização de estados hidrológicos não deve ser entendida apenas como uma classificação técnica, mas como instrumento de apoio à gestão e à governança. Ao indicar níveis de segurança, atenção e criticidade, essa metodologia contribui para orientar decisões sobre operação, alocação, monitoramento e comunicação com os usuários. No caso da Barragem de Pau dos Ferros, sua aplicação permite analisar a capacidade de resposta do sistema diante de diferentes cenários de disponibilidade hídrica, fortalecendo a tomada de decisão e a segurança hídrica regional.

A discussão sobre alocação negociada e estados hidrológicos prepara a análise dos reservatórios e de sua infraestrutura associada, pois a efetividade desses instrumentos depende do conhecimento sobre o funcionamento físico do sistema hídrico. Assim, no próximo tópico, torna-se necessário discutir o papel dos reservatórios artificiais e das infraestruturas hídricas no semiárido, destacando sua importância para o armazenamento, a regularização e a distribuição da água em regiões sujeitas à escassez.

2.6 Reservatórios artificiais e infraestrutura hídrica no semiárido

A definição de regras de alocação, estados hidrológicos e curvas-guias depende diretamente do conhecimento sobre o funcionamento físico dos sistemas hídricos. No semiárido brasileiro, esse aspecto assume relevância especial, pois a segurança hídrica regional está fortemente associada à existência de reservatórios, adutoras, canais, poços, cisternas e outras estruturas capazes de armazenar, transportar e distribuir água em períodos de escassez. Dessa forma, a infraestrutura hídrica constitui uma das bases materiais da gestão da água, principalmente em regiões onde os rios são predominantemente intermitentes e as chuvas apresentam elevada irregularidade.

Os reservatórios artificiais desempenham papel estratégico na regularização da disponibilidade hídrica. Em regiões semiáridas, onde a água superficial ocorre de forma concentrada no período chuvoso, os açudes e barragens permitem armazenar parte do volume escoado para posterior utilização no abastecimento humano, na dessedentação animal, na irrigação e em outros usos produtivos. Segundo Maidment (1993), o comportamento de um reservatório depende do balanço entre entradas e saídas de água, envolvendo precipitação, vazões afluentes, evaporação, retiradas, infiltração, vertimentos e regras operacionais. Assim, sua capacidade de atendimento não está relacionada apenas ao volume máximo acumulável, mas também à dinâmica hidrológica e às demandas que incidem sobre o sistema.

No semiárido nordestino, a construção de reservatórios foi historicamente uma das principais estratégias adotadas pelo poder público para enfrentar os efeitos das secas. Cirilo (2008) destaca que a política de acumulação de água em açudes se consolidou como uma resposta à irregularidade climática da região, especialmente por meio de grandes reservatórios com capacidade de regularização plurianual e de pequenos reservatórios destinados ao atendimento de populações rurais difusas. Entretanto, o autor ressalta que os altos índices de evaporação representam um desafio importante para a eficiência dessas estruturas, sobretudo nos reservatórios de menor porte.

Vieira (2003) também observa que o semiárido apresenta uma vasta infraestrutura hidráulica composta por grandes, médios e pequenos reservatórios, com uso predominante para abastecimento, irrigação e piscicultura. Contudo, essa infraestrutura exige sistemas integrados de operação e planejamento, pois a simples existência de reservatórios não garante, por si só, segurança hídrica. É necessário que essas estruturas sejam acompanhadas de monitoramento, manutenção, critérios de operação, gestão das demandas e articulação institucional.

Além dos reservatórios, a infraestrutura hídrica do semiárido envolve sistemas adutores, canais de integração, poços, cisternas, dessalinizadores, barragens subterrâneas e tecnologias de reúso. Essas estruturas possuem funções distintas e complementares. Enquanto os grandes reservatórios e adutoras são fundamentais para abastecer sedes urbanas e sistemas regionais, as tecnologias descentralizadas contribuem para atender comunidades rurais dispersas e reduzir vulnerabilidades locais. Souza et al. (2016) destacam que tecnologias sociais, como cisternas, barragens subterrâneas, fossas sépticas, destiladores solares e sistemas de bioágua, fortalecem a convivência com o semiárido ao ampliar o acesso à água e apoiar a permanência de agricultores familiares na região.

Nesse mesmo sentido, Cirilo (2008) ressalta que a segurança hídrica no semiárido exige a combinação de diferentes alternativas, incluindo captação de água de chuva, uso criterioso de águas subterrâneas, dessalinização, reúso de águas servidas, transporte de água a longas distâncias e integração de bacias. Essa diversidade de soluções demonstra que a infraestrutura hídrica deve ser analisada como um sistema integrado, e não como um conjunto de obras isoladas.

A integração de bacias hidrográficas também se insere nesse debate. Em regiões onde a disponibilidade local é insuficiente para atender às demandas, obras de transferência de água podem ampliar a segurança hídrica, desde que associadas a planejamento, avaliação ambiental, controle de usos e governança adequada. Silva e Lopes (2019) afirmam que a

integração de bacias no Nordeste brasileiro pode contribuir para reduzir vulnerabilidades hídricas, mas sua efetividade depende da articulação entre infraestrutura, gestão e prioridades sociais. Milhorange et al. (2019) complementam essa discussão ao advertirem que grandes projetos de infraestrutura, quando implementados de forma pouco integrada às políticas territoriais e sociais, podem reproduzir desigualdades e gerar novos conflitos pelo uso dos recursos naturais.

No Alto Oeste Potiguar, a infraestrutura hídrica regional possui papel decisivo para o abastecimento e para o desenvolvimento socioeconômico. Cardoso (2021) aponta que a implantação de estruturas hídricas nessa região está diretamente relacionada ao atendimento das demandas locais e à redução da vulnerabilidade decorrente da escassez. Esse contexto reforça a importância de compreender a Barragem de Pau dos Ferros não apenas como um reservatório isolado, mas como parte de um sistema hídrico regional, articulado a adutoras, municípios atendidos, demandas urbanas, usos rurais e possíveis reforços futuros decorrentes de obras de integração hídrica.

A Barragem de Pau dos Ferros constitui uma infraestrutura estratégica para o Alto Oeste Potiguar, pois contribui para o abastecimento de diferentes localidades e para o suporte a atividades econômicas e sociais da região. Fernandes e Lacerda (2022) destacam que a relação entre demanda, oferta e gestão hídrica da barragem evidencia a importância do reservatório para a segurança hídrica local e regional. De forma complementar, Miranda (2024) discute a gestão dos recursos hídricos na Barragem de Pau dos Ferros, reforçando a necessidade de instrumentos capazes de acompanhar sua disponibilidade e orientar decisões sobre o uso da água.

A relevância social da barragem também aparece na percepção dos atores locais. Santos, Estevam e Barreto Filho (2024) indicam que a Barragem de Pau dos Ferros é percebida como elemento importante para o desenvolvimento local, uma vez que sua disponibilidade hídrica influencia atividades urbanas, rurais e econômicas. Essa percepção reforça que os reservatórios do semiárido não possuem apenas função técnica de armazenamento, mas também assumem papel territorial, social e econômico.

Entretanto, a dependência de reservatórios também impõe desafios. A variabilidade das chuvas, as perdas por evaporação, o aumento das demandas, a degradação ambiental das bacias de contribuição e a ausência de regras claras de operação podem comprometer a segurança hídrica. Por isso, a gestão de reservatórios exige acompanhamento contínuo dos volumes armazenados, identificação das demandas atendidas, estimativa das perdas, avaliação

dos cenários de operação e definição de critérios para restrição ou priorização de usos em períodos críticos.

Nesse contexto, os reservatórios artificiais devem ser compreendidos como componentes de sistemas hídricos mais amplos. Sua eficiência depende tanto de características físicas, como capacidade de acumulação, área inundada, evaporação e regime de afluições, quanto de fatores institucionais, como governança, alocação negociada, outorga, monitoramento e participação dos usuários. Assim, a infraestrutura hídrica, para contribuir efetivamente com a segurança hídrica, precisa estar integrada à gestão das demandas e aos instrumentos de planejamento.

Dessa forma, a Barragem de Pau dos Ferros representa um caso relevante para analisar a relação entre reservação, infraestrutura hídrica e segurança hídrica no semiárido. Sua importância regional justifica a necessidade de estudos que avaliem o comportamento hidrológico do reservatório, a pressão das demandas e os cenários de atendimento ao longo do tempo. Essa discussão conduz ao próximo tópico, no qual serão abordadas a modelagem hidrológica e a simulação de cenários como instrumentos de apoio à análise do desempenho dos reservatórios e à tomada de decisão na gestão da água.

2.7 Modelagem hidrológica, simulação de cenários e desempenho de reservatórios

A compreensão dos reservatórios artificiais e da infraestrutura hídrica no semiárido evidencia a necessidade de instrumentos capazes de analisar o comportamento dos sistemas ao longo do tempo. Em regiões marcadas por forte variabilidade climática, elevada evaporação e múltiplas demandas, a simples observação do volume armazenado em determinado momento não é suficiente para avaliar a segurança hídrica. Nesse contexto, a modelagem hidrológica e a simulação de cenários constituem ferramentas importantes para representar o funcionamento dos reservatórios, estimar sua capacidade de atendimento e subsidiar decisões de gestão.

A modelagem hidrológica consiste na representação simplificada de processos relacionados ao ciclo da água, permitindo analisar entradas, saídas, armazenamento e variações de disponibilidade hídrica em um sistema. Segundo Maidment (1993), os modelos hidrológicos são utilizados para compreender e representar fenômenos como precipitação, escoamento, evaporação, infiltração e armazenamento, auxiliando o planejamento e a operação de sistemas de recursos hídricos. No caso de reservatórios, esses modelos permitem

avaliar o comportamento do volume armazenado a partir do balanço entre vazões afluentes, precipitação direta, evaporação, retiradas para atendimento das demandas, infiltração e eventuais vertimentos.

No semiárido, a modelagem assume relevância ainda maior em razão da irregularidade das chuvas e da dependência de estruturas de acumulação. Como discutido nos tópicos anteriores, reservatórios localizados nessa região estão sujeitos a períodos prolongados de estiagem e a perdas significativas por evaporação. Dessa forma, a modelagem hidrológica permite antecipar possíveis situações de escassez, avaliar a duração provável dos volumes armazenados e verificar o impacto das demandas sobre o comportamento do sistema.

A simulação de cenários, por sua vez, possibilita testar diferentes condições operacionais e avaliar como o reservatório responderia diante de distintas combinações de oferta e demanda. Esses cenários podem considerar, por exemplo, o atendimento integral das demandas, a redução parcial dos usos, a priorização do abastecimento humano, a diminuição das retiradas para atividades produtivas ou a ocorrência de períodos sem aporte significativo de água. Assim, a simulação contribui para transformar dados hidrológicos e operacionais em informações úteis à tomada de decisão.

A ANA (2013), ao tratar dos usos consuntivos da água no Brasil, destaca a importância de estimar adequadamente as demandas hídricas para diferentes setores, uma vez que o planejamento dos recursos hídricos depende do conhecimento sobre os volumes retirados, consumidos e retornados aos corpos d'água. Essa abordagem é fundamental para simulações de reservatórios, pois a qualidade dos resultados depende da coerência dos dados de entrada, especialmente das demandas consideradas, das perdas por evaporação e das condições iniciais de armazenamento.

A simulação também se relaciona diretamente com a definição de estados hidrológicos e curvas-guias. Conforme a Nota Técnica ANA nº 11/2020, os estados hidrológicos e as curvas-guias funcionam como referências para orientar a operação de reservatórios estratégicos, permitindo classificar situações de normalidade, atenção, alerta ou criticidade a partir dos volumes armazenados (ANA, 2020). Nesse sentido, a modelagem hidrológica pode auxiliar na construção e avaliação dessas referências, indicando em que momento o sistema tende a atingir determinadas faixas de armazenamento e quais medidas podem ser adotadas para evitar situações críticas.

Além de apoiar o planejamento operacional, a simulação de cenários permite avaliar o desempenho dos sistemas hídricos. Hashimoto, Stedinger e Loucks (1982) propõem três critérios amplamente utilizados para essa finalidade: confiabilidade, resiliência e

vulnerabilidade. A confiabilidade está relacionada à capacidade do sistema de atender às demandas ao longo do tempo; a resiliência representa a capacidade de recuperação após uma falha ou situação crítica; e a vulnerabilidade expressa a magnitude dos impactos quando o sistema não consegue atender adequadamente às demandas.

Esses critérios são especialmente úteis para estudos de segurança hídrica em reservatórios do semiárido. Um sistema pode, por exemplo, apresentar boa confiabilidade em anos chuvosos, mas baixa resiliência quando submetido a estiagens prolongadas. Da mesma forma, um reservatório pode atender às demandas durante determinado período, mas apresentar alta vulnerabilidade caso o esvaziamento ocorra de forma rápida e comprometa usos prioritários. Assim, os indicadores de desempenho permitem interpretar os resultados das simulações de maneira mais ampla, considerando não apenas se o sistema falha, mas também a frequência, a duração e a gravidade dessas falhas.

A aplicação desses critérios dialoga com a perspectiva da segurança hídrica discutida anteriormente, pois permite relacionar disponibilidade, riscos e capacidade de resposta. Grey e Sadoff (2007) compreendem a segurança hídrica como a capacidade de aproveitar os benefícios da água e reduzir os riscos associados à sua escassez, excesso ou degradação. De forma complementar, Dias, Pessoa e Teixeira (2022) ressaltam que a gestão dos recursos hídricos no semiárido precisa incorporar incertezas climáticas e desenvolver mecanismos adaptativos para lidar com os riscos futuros. Nesse sentido, a modelagem e a simulação de cenários contribuem para uma gestão mais preventiva e menos reativa.

No planejamento de reservatórios, a construção de cenários também favorece a comparação entre diferentes estratégias de gestão. Ao simular alternativas de operação, torna-se possível identificar quais medidas prolongam o tempo de atendimento das demandas, quais reduzem a vulnerabilidade do sistema e quais contribuem para preservar volumes mínimos em situações de escassez. Essa análise é importante porque permite fundamentar decisões relacionadas à alocação da água, à definição de restrições e à priorização de usos.

Entretanto, a modelagem hidrológica deve ser compreendida como uma ferramenta de apoio, e não como uma representação absoluta da realidade. Todo modelo depende de hipóteses, dados disponíveis, simplificações e critérios metodológicos. Por isso, seus resultados precisam ser interpretados com cautela e articulados a outras informações, como monitoramento de campo, dados operacionais, registros históricos, demandas atualizadas e conhecimento institucional sobre o sistema analisado. Essa cautela é ainda mais necessária em regiões semiáridas, onde a variabilidade climática pode produzir comportamentos hidrológicos extremos e de difícil previsão.

No caso da Barragem de Pau dos Ferros, a modelagem hidrológica e a simulação de cenários são importantes para avaliar a capacidade do reservatório em atender às demandas associadas ao abastecimento humano, à dessedentação animal, aos usos agrícolas e aos demais usos identificados. A análise permite estimar como o volume armazenado se comporta ao longo do tempo, considerando retiradas, perdas e condições iniciais do sistema. Além disso, possibilita verificar em quais cenários o reservatório mantém maior segurança operacional e em quais situações se aproxima de níveis críticos.

Sendo assim, a simulação de cenários contribui para a gestão da Barragem de Pau dos Ferros ao oferecer uma base técnica para a tomada de decisão. Quando associada aos estados hidrológicos, às curvas-guias e aos critérios de desempenho, essa ferramenta permite avaliar a segurança hídrica do reservatório de forma mais consistente, identificando riscos, limites operacionais e possibilidades de ajuste nas demandas. Assim, a modelagem não apenas descreve o comportamento do sistema, mas também auxilia na construção de estratégias de gestão mais compatíveis com a realidade do semiárido.

A partir dessa base conceitual, torna-se possível avançar para a caracterização da Barragem de Pau dos Ferros e de seu contexto hídrico regional, destacando sua localização, importância para o Alto Oeste Potiguar, principais usos associados e papel estratégico na segurança hídrica da região.

2.8 Barragem de Pau dos Ferros e o contexto hídrico regional

A partir da discussão sobre modelagem hidrológica, simulação de cenários e desempenho de reservatórios, torna-se necessário situar a Barragem de Pau dos Ferros no contexto hídrico regional em que está inserida. Essa contextualização é importante porque os resultados de uma simulação não podem ser interpretados apenas a partir dos volumes armazenados, mas também considerando a função territorial, social, econômica e institucional exercida pelo reservatório no Alto Oeste Potiguar.

A Barragem de Pau dos Ferros, também conhecida como Açude Dr. Pedro Diógenes Fernandes, localiza-se no município de Pau dos Ferros, na região do Alto Oeste do Rio Grande do Norte, estando inserida na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. O reservatório possui importância estratégica para o abastecimento humano e para a organização hídrica regional, uma vez que atende demandas locais e intermunicipais, além de estar associado a diferentes usos da água no seu entorno e a jusante.

O município de Pau dos Ferros exerce papel de centralidade regional no Alto Oeste Potiguar, concentrando atividades comerciais, educacionais, administrativas e de serviços. Essa condição amplia a relevância da infraestrutura hídrica local, pois o abastecimento de água não se relaciona apenas à população residente, mas também à dinâmica econômica e social de uma região que depende do município como polo de referência. Segundo o IDEMA (2008), Pau dos Ferros está inserido em uma área de características semiáridas, marcada pela irregularidade das chuvas e pela necessidade de estruturas capazes de garantir maior estabilidade ao abastecimento.

Nesse contexto, a barragem passou a desempenhar papel fundamental para a segurança hídrica regional. Fernandes e Lacerda (2022) destacam que a Barragem de Pau dos Ferros apresenta relevância direta na relação entre demanda, oferta e gestão hídrica, especialmente por estar vinculada ao abastecimento urbano e a outros usos associados ao reservatório. A análise desses autores reforça que a barragem não deve ser compreendida apenas como uma estrutura física de armazenamento, mas como componente de um sistema hídrico regional submetido a pressões crescentes de demanda.

A importância regional do reservatório também é evidenciada pela sua integração ao sistema de abastecimento operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), especialmente por meio da Adutora do Alto Oeste. Essa articulação amplia a área de influência da barragem e reforça sua função estratégica no atendimento de municípios que dependem do sistema adutor. Assim, a operação da barragem possui repercussões que ultrapassam os limites do município de Pau dos Ferros, alcançando outras localidades do Alto Oeste Potiguar.

Além do abastecimento humano, a Barragem de Pau dos Ferros está associada a usos múltiplos da água, incluindo dessedentação animal, atividades agrícolas, pesca, lazer e usos localizados no entorno e a jusante do reservatório. Miranda (2024), ao analisar a gestão dos recursos hídricos da Barragem de Pau dos Ferros, evidencia que o reservatório apresenta diferentes formas de apropriação e uso, o que reforça a necessidade de estratégias de gestão capazes de compatibilizar demandas diversas e reduzir pressões sobre o sistema hídrico.

Essa multiplicidade de usos torna a barragem um espaço de interação entre diferentes atores sociais. Santos, Estevam e Barreto Filho (2024) apontam que o reservatório é percebido pelos atores locais como elemento importante para o desenvolvimento de Pau dos Ferros e de cidades circunvizinhas, tanto pelo abastecimento hídrico quanto pela geração de emprego e renda, atividades de lazer, turismo e investimentos públicos e privados. Essa percepção

demonstra que a barragem possui significado social e econômico, além de sua função técnica de reservação.

Entretanto, os mesmos autores chamam atenção para a pressão relacionada ao crescimento das demandas sobre o reservatório. Santos, Estevam e Barreto Filho (2024) indicam que a capacidade hídrica da barragem é vista por diferentes atores como limitada diante dos usos existentes e das necessidades regionais, especialmente em períodos de estiagem prolongada. Essa constatação dialoga com a discussão realizada nos tópicos anteriores sobre usos múltiplos, conflitos hídricos e necessidade de regras operacionais em reservatórios estratégicos.

A vulnerabilidade da Barragem de Pau dos Ferros está diretamente relacionada às condições climáticas do semiárido, à irregularidade das precipitações, às perdas por evaporação e ao aumento das demandas hídricas. Como discutido anteriormente, reservatórios localizados em áreas semiáridas estão sujeitos a variações expressivas de armazenamento, o que exige monitoramento contínuo e planejamento preventivo. No caso da barragem, esses fatores tornam indispensável a definição de critérios de operação que considerem diferentes condições de armazenamento e priorizem os usos essenciais em situações críticas.

Nesse sentido, o reservatório se apresenta como um caso relevante para aplicação dos conceitos de segurança hídrica, estados hidrológicos, alocação negociada e simulação de cenários. A definição de estados hidrológicos permite classificar a condição do reservatório conforme os volumes armazenados, enquanto a simulação de cenários possibilita avaliar sua capacidade de atendimento diante de diferentes situações de disponibilidade e demanda. Esses instrumentos contribuem para transformar informações hidrológicas em subsídios práticos para a tomada de decisão.

A integração hídrica também compõe o contexto regional da Barragem de Pau dos Ferros. Obras de transferência e sistemas adutores podem ampliar a segurança hídrica quando associadas a planejamento e governança adequados. Silva e Lopes (2019) destacam que a integração de bacias no Nordeste brasileiro pode contribuir para reduzir vulnerabilidades, desde que esteja articulada à gestão eficiente, ao controle das demandas e à definição de prioridades sociais. No caso do Alto Oeste Potiguar, essa discussão é relevante porque o reforço hídrico por sistemas integrados pode alterar a dinâmica de disponibilidade do reservatório e ampliar sua capacidade de suporte regional.

Cardoso (2021), ao avaliar estruturas hídricas no atendimento das demandas do Alto Oeste Potiguar, reforça que a infraestrutura regional possui papel importante na redução da vulnerabilidade hídrica. No entanto, a efetividade dessas estruturas depende da articulação

entre obras, planejamento, gestão e acompanhamento das demandas. Essa leitura é coerente com a situação da Barragem de Pau dos Ferros, cuja importância regional exige instrumentos técnicos e institucionais capazes de orientar decisões em cenários de escassez.

Dessa forma, a Barragem de Pau dos Ferros representa uma infraestrutura estratégica para o Alto Oeste Potiguar, tanto pela sua função no abastecimento humano quanto por sua relação com usos produtivos, sociais e territoriais. Sua relevância justifica a necessidade de estudos que avaliem o comportamento hidrológico do reservatório, a consolidação das demandas associadas e os efeitos de diferentes cenários operacionais. Ao articular essas dimensões, o presente trabalho busca contribuir para o fortalecimento da segurança hídrica regional e para a construção de uma gestão mais planejada, preventiva e adaptativa dos recursos hídricos.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida tendo como área de estudo a Barragem de Pau dos Ferros, também denominada Açude Dr. Pedro Diógenes Fernandes, localizada no município de Pau dos Ferros, na região do Alto Oeste Potiguar, estado do Rio Grande do Norte. O reservatório está inserido na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró e constitui uma das principais infraestruturas hídricas da região, desempenhando papel estratégico no armazenamento de água para abastecimento humano, dessedentação animal e suporte a atividades produtivas locais.

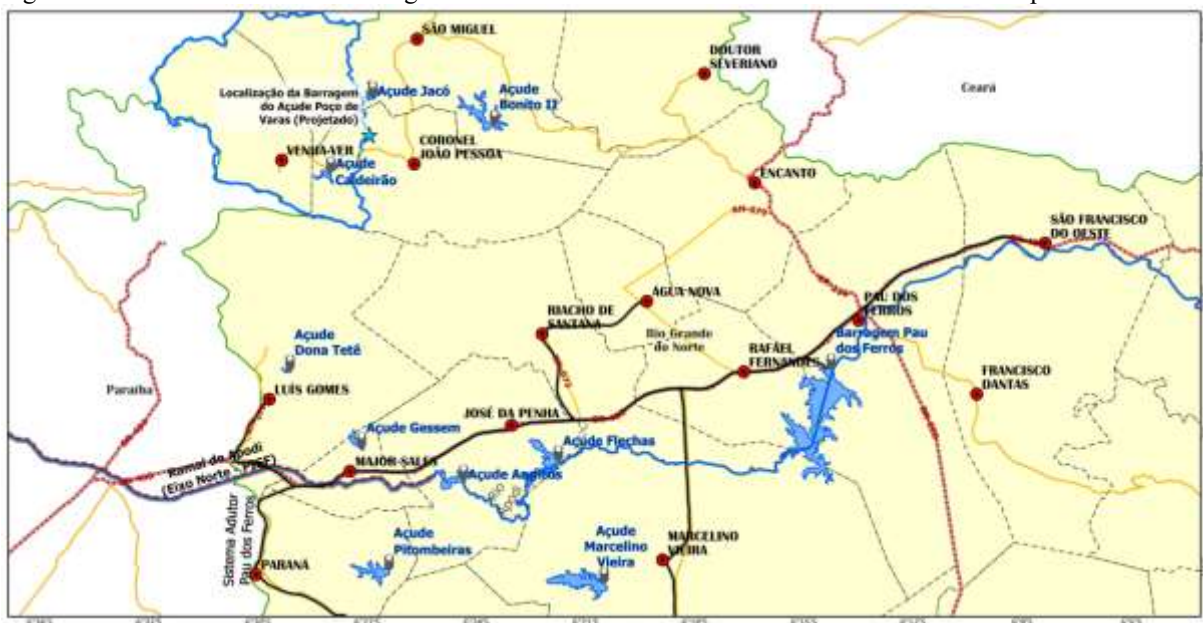
O município de Pau dos Ferros possui área territorial de aproximadamente 260 km² e exerce importante função como polo regional de comércio, educação, saúde e prestação de serviços para os municípios do Alto Oeste Potiguar. De acordo com o IDEMA (2008), o município está inserido em uma área de características semiáridas, marcada por elevadas temperaturas, irregularidade pluviométrica e predominância de vegetação de Caatinga. Essas condições climáticas e ambientais reforçam a importância dos reservatórios artificiais como estruturas fundamentais para a regularização da oferta de água e para a redução da vulnerabilidade hídrica regional.

A Barragem de Pau dos Ferros apresenta capacidade máxima de armazenamento de aproximadamente 55 milhões de metros cúbicos ou 55 hm³, configurando-se como um reservatório estratégico para o sistema hídrico regional. Sua importância ultrapassa os limites

do município de Pau dos Ferros, uma vez que integra o sistema de abastecimento operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), atendendo municípios do Alto Oeste Potiguar por meio da Adutora do Alto Oeste.

A localização da Barragem de Pau dos Ferros e sua articulação com o sistema de abastecimento regional são apresentadas na Figura 1, que permite visualizar a área de influência do reservatório e sua relação com a infraestrutura hídrica responsável pelo atendimento dos municípios abastecidos.

Figura 1 - Adutora do Alto Oeste Potiguar saindo de Pau dos Ferros e atendendo mais 12 municípios



Fonte: SEMARH (2023)

A inserção do reservatório em uma região semiárida torna sua operação diretamente dependente da variabilidade climática e do comportamento das chuvas na bacia de contribuição. Em períodos de estiagem prolongada, a redução dos volumes armazenados compromete a capacidade de atendimento das demandas e amplia a necessidade de instrumentos de planejamento, monitoramento e gestão. Nesse sentido, a Barragem de Pau dos Ferros foi selecionada como objeto deste estudo por sua relevância para a segurança hídrica do Alto Oeste Potiguar e por sua importância na análise dos usos múltiplos da água, dos estados hidrológicos e dos cenários operacionais simulados nesta pesquisa.

3.2 Delineamento metodológico da pesquisa

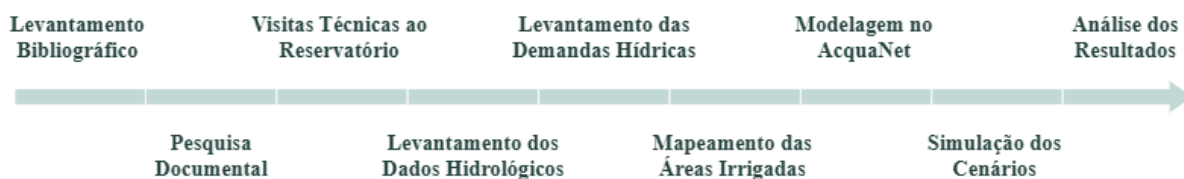
A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, uma vez que busca produzir conhecimentos voltados à análise de um problema concreto relacionado à gestão dos recursos hídricos e à segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros. Segundo Gil (2019), a pesquisa aplicada tem como finalidade gerar conhecimentos dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo interesses locais ou institucionais. Nesse sentido, o estudo foi desenvolvido com o propósito de subsidiar a compreensão das condições de disponibilidade hídrica do reservatório, das demandas associadas ao seu uso e dos cenários operacionais capazes de apoiar a tomada de decisão.

Quanto à abordagem, a pesquisa é classificada como quali-quantitativa. A dimensão quantitativa está relacionada ao levantamento, tratamento e análise de dados numéricos referentes ao histórico de armazenamento da barragem, às demandas hídricas associadas ao reservatório, aos volumes simulados e aos cenários de atendimento. A dimensão qualitativa, por sua vez, está vinculada à interpretação dos usos múltiplos da água, à análise das informações institucionais, à observação direta em campo e à compreensão da importância regional da barragem para a segurança hídrica do Alto Oeste Potiguar.

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva e exploratória. É descritiva porque busca caracterizar o comportamento hidrológico da Barragem de Pau dos Ferros, identificar as principais demandas hídricas associadas ao reservatório e apresentar os estados hidrológicos definidos para o sistema estudado. Também possui caráter exploratório, pois procura aprofundar a compreensão sobre a aplicação de cenários operacionais e estados hidrológicos como instrumentos de apoio à gestão de um reservatório estratégico localizado em região semiárida.

Em relação aos procedimentos técnicos, foram adotadas pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, visitas técnicas ao reservatório, levantamento de dados hidrológicos, levantamento das demandas hídricas, mapeamento das áreas irrigadas, modelagem no *AcquaNet*, simulação de cenários e análise dos resultados. A organização sequencial dessas etapas é apresentada na Figura 2, que sintetiza o percurso metodológico adotado na pesquisa.

Figura 2 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2026)

A pesquisa bibliográfica foi utilizada para fundamentar os conceitos de segurança hídrica, governança, usos múltiplos da água, alocação negociada, estados hidrológicos, reservatórios e modelagem hidrológica. A pesquisa documental e o levantamento de dados institucionais permitiram reunir informações provenientes de órgãos e entidades relacionados à gestão hídrica, ao abastecimento público, à operação do reservatório e aos usos da água. As visitas técnicas ao reservatório foram realizadas com o objetivo de observar diretamente a área de estudo, identificar usos existentes no entorno da barragem e complementar as informações obtidas por meio das fontes documentais.

O levantamento dos dados hidrológicos possibilitou analisar o comportamento do reservatório ao longo do tempo, com base nos volumes armazenados e nas condições de disponibilidade hídrica. Em seguida, foi realizado o levantamento das demandas hídricas associadas ao reservatório, abrangendo o abastecimento humano, a dessedentação animal, os usos agrícolas e demais usos observados. O mapeamento das áreas irrigadas foi utilizado como etapa complementar para estimar a pressão exercida pelas atividades agrícolas no entorno da bacia hidráulica.

Na etapa de modelagem, os dados consolidados foram inseridos no software *AcquaNet*, permitindo a representação simplificada do comportamento hídrico da Barragem de Pau dos Ferros. A partir disso, foram simulados cenários operacionais com o objetivo de avaliar a capacidade de atendimento das demandas sob diferentes condições de disponibilidade. Por fim, os resultados foram analisados considerando os estados hidrológicos definidos, o comportamento volumétrico do reservatório e as implicações para a segurança hídrica regional.

Com a finalidade de sistematizar a classificação da pesquisa e os procedimentos adotados, o Quadro 1 apresenta uma síntese do delineamento metodológico, relacionando cada etapa à sua respectiva finalidade no estudo.

Quadro 1 – Síntese do delineamento metodológico da pesquisa

Elemento metodológico	Classificação/Procedimento adotado	Finalidade no estudo
Natureza da pesquisa	Aplicada	Produzir informações voltadas ao apoio à gestão da Barragem de Pau dos Ferros
Abordagem	Quali-quantitativa	Analisar dados numéricos e interpretar aspectos institucionais, operacionais e territoriais
Objetivos	Descritiva e exploratória	Caracterizar o reservatório, as demandas e os cenários de segurança hídrica
Procedimentos técnicos	Pesquisa bibliográfica e documental	Fundamentar teoricamente o estudo e reunir dados oficiais sobre o sistema hídrico
Levantamento institucional	Consulta a bases e informações de órgãos responsáveis	Obter dados sobre armazenamento, abastecimento, rebanhos, usos e operação do reservatório
Observação in loco	Visitas técnicas ao reservatório e ao entorno	Identificar usos existentes e complementar as informações documentais
Análise espacial	Interpretação de imagens e delimitação de áreas de uso agrícola	Estimar áreas irrigadas e apoiar a quantificação de demandas
Simulação hidrológica	Aplicação do software <i>AcquaNet</i>	Avaliar cenários de atendimento e comportamento volumétrico do reservatório

Fonte: Adaptado (2026), com base em Gil (2019).

A partir desse delineamento, os tópicos seguintes detalham as fontes, os períodos, os critérios de cálculo e os procedimentos adotados para cada conjunto de dados utilizado. Esse detalhamento é necessário para garantir a rastreabilidade metodológica da pesquisa, especialmente em relação aos dados hidrológicos, às demandas de abastecimento humano, dessedentação animal, agricultura irrigada, perdas por evaporação e parâmetros inseridos na simulação hidrológica.

3.3 Levantamento dos dados hidrológicos

O levantamento dos dados hidrológicos foi realizado com o objetivo de compreender o comportamento volumétrico da Barragem de Pau dos Ferros ao longo do tempo e subsidiar a definição dos cenários operacionais utilizados na simulação. Para essa etapa, foram considerados dados históricos de volume armazenado no reservatório, expressos em hectômetros cúbicos (hm³), bem como a capacidade máxima de acumulação da barragem.

Os dados de armazenamento foram obtidos a partir de bases institucionais de monitoramento hídrico, especialmente aquelas disponibilizadas pelo Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte (IGARN) e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A série histórica utilizada compreendeu o período de fevereiro de

2000 a fevereiro de 2025, permitindo observar a variação do volume acumulado no reservatório ao longo de aproximadamente 25 anos.

Para fins de padronização, todos os volumes foram organizados em hm^3 , unidade compatível com a capacidade de reservação da barragem e com a representação gráfica dos dados. A capacidade máxima considerada para a Barragem de Pau dos Ferros foi de aproximadamente 55 hm^3 , valor utilizado como referência para a análise do comportamento volumétrico do reservatório e para a comparação entre os períodos de maior e menor armazenamento.

A série histórica foi sistematizada em planilha eletrônica, sendo posteriormente organizada em gráfico de linha para melhor visualização das variações do volume armazenado ao longo do tempo. Esse procedimento permitiu identificar períodos de recuperação hídrica, deplecionamento gradual, redução acentuada e situações de armazenamento crítico. O histórico volumétrico da Barragem de Pau dos Ferros é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Histórico da Barragem de Pau dos Ferros (2000–2025)



Fonte: Autoria própria (2026)

Conforme apresentado na Figura 3, o reservatório apresentou oscilações expressivas ao longo da série histórica analisada, alternando períodos próximos à capacidade máxima com momentos de forte redução do volume armazenado. Essa variação reflete a dependência do reservatório em relação ao regime de chuvas da região semiárida, bem como a pressão exercida pelas demandas hídricas associadas ao sistema.

A análise do histórico de armazenamento foi utilizada como base para a compreensão da vulnerabilidade hídrica do reservatório e para a seleção dos volumes iniciais adotados nas simulações. Dessa forma, os dados hidrológicos não foram utilizados apenas para fins descritivos, mas também como referência para a construção dos cenários de disponibilidade hídrica avaliados no estudo.

Além do volume armazenado, foram considerados dados complementares relacionados à capacidade máxima do reservatório, às perdas por evaporação e às demandas hídricas consolidadas. Esses elementos foram necessários para a estruturação do balanço hídrico simplificado utilizado na modelagem. No caso das simulações realizadas no *AcquaNet*, o volume inicial do reservatório foi definido a partir de pontos específicos da série histórica, de modo a representar diferentes condições de armazenamento e avaliar a resposta do sistema diante da continuidade das demandas.

Para organizar as informações utilizadas nesta etapa da pesquisa, o Quadro 2 apresenta a síntese dos dados hidrológicos levantados, suas respectivas fontes, forma de obtenção e finalidade no estudo.

Quadro 2 – Síntese dos dados hidrológicos utilizados na pesquisa

Dado utilizado	Fonte	Forma de obtenção	Período/ano de referência	Finalidade no estudo
Volume armazenado da Barragem de Pau dos Ferros	IGARN/ANA	Consulta a base institucional de monitoramento hídrico	Fevereiro de 2000 a fevereiro de 2025	Analisar o comportamento volumétrico histórico do reservatório
Capacidade máxima do reservatório	IGARN/ANA/DNOCS	Consulta a dados institucionais e informações técnicas do reservatório	Valor de referência: 55 hm ³	Definir a capacidade de reservação e calcular percentuais de armazenamento
Série histórica de armazenamento	Elaborada a partir dos dados do IGARN/ANA	Organização em planilha eletrônica e representação gráfica	2000–2025	Identificar períodos de cheia, deplecionamento e criticidade hídrica
Volume inicial das simulações	Definido a partir da série histórica	Seleção de volumes representativos de diferentes condições de armazenamento	Conforme cenários definidos no estudo	Estruturar as simulações no <i>AcquaNet</i>
Perdas por evaporação	Elaborada a partir dos dados da ANA	Consulta à ficha técnica do reservatório, com utilização do vetor mensal de evaporação em mm	Vetor mensal de referência publicado em 2016	Representar as perdas mensais por evaporação no reservatório durante a modelagem no <i>AcquaNet</i>

Fonte: Autoria própria (2026)

A utilização desses dados permitiu estruturar a etapa hidrológica da pesquisa de forma compatível com os objetivos do estudo, especialmente no que se refere à avaliação da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros. O histórico de armazenamento serviu como base para compreender o comportamento passado do reservatório, enquanto os volumes iniciais, as perdas e as demandas foram utilizadas na simulação de cenários operacionais.

3.4 Levantamento e estimativa das demandas hídricas

O levantamento das demandas hídricas associadas à Barragem de Pau dos Ferros foi realizado com o objetivo de identificar os principais usos da água vinculados ao reservatório e quantificar, sempre que possível, os volumes requeridos por cada finalidade. Essa etapa foi fundamental para a construção dos cenários de simulação, uma vez que as demandas representam as principais saídas do sistema hídrico modelado, juntamente com as perdas por evaporação.

A identificação das demandas foi realizada a partir da integração de dados institucionais, informações operacionais, observações de campo e análise espacial. Foram considerados quatro grupos principais de uso: abastecimento humano, dessedentação animal, agricultura irrigada e usos localizados a jusante. Essa organização permitiu diferenciar as demandas prioritárias, diretamente relacionadas ao consumo humano e à dessedentação animal, daquelas associadas a usos produtivos e complementares.

Para garantir maior rastreabilidade metodológica, cada demanda foi associada à sua respectiva fonte de informação, forma de obtenção, período de referência e critério de estimativa. O Quadro 3 apresenta a síntese das fontes utilizadas no levantamento das demandas hídricas consideradas na pesquisa.

Quadro 3 – Fontes utilizadas para levantamento das demandas hídricas associadas à Barragem de Pau dos Ferros

Tipo de demanda	Fonte dos dados	Forma de obtenção	Período/ano de referência	Finalidade no estudo
Abastecimento humano	CAERN	Dados operacionais do sistema adutor regional	2026 ou período informado pela companhia	Quantificar a demanda principal associada ao abastecimento urbano
Dessedentação animal	IDIARN e DNOCS	Levantamento institucional e informações complementares de campo	2026 ou ano-base do levantamento	Estimar o consumo hídrico dos rebanhos no entorno do reservatório
Agricultura irrigada	Análise espacial, imagem de satélite e observação de campo	Delimitação das áreas agrícolas no entorno da bacia hidráulica	2026 ou data da imagem utilizada	Estimar a demanda hídrica associada às áreas produtivas
Usos a jusante	Observação de campo e informações institucionais	Identificação de usos potenciais/localizados	2026	Considerar usos complementares nos cenários de simulação

Fonte: Autoria própria (2026).

A demanda destinada ao abastecimento humano foi considerada prioritária, em conformidade com a Política Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece o consumo humano e a dessedentação animal como usos prioritários em situações de escassez (Brasil, 1997). Para essa finalidade, foram utilizados dados operacionais disponibilizados pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), referentes ao sistema de abastecimento associado à Barragem de Pau dos Ferros.

Para a estimativa da demanda de abastecimento humano, foram considerados dados fornecidos pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), referentes às localidades atendidas pelo sistema associado à Barragem de Pau dos Ferros. O Quadro 4 apresenta a população de referência, a projeção populacional para 2038, a vazão estimada e a cota do reservatório relacionada ao atendimento de cada localidade.

Quadro 4 – Dados de abastecimento humano considerados na pesquisa

Localidade	População 2009	População projetada 2038	Vazão 2038 (L/s)	Cota do reservatório (m)
Alexandria	9.318	10.701	26,75	377
Água Nova	2.076	3.941	8,76	290
Caiçara (*)	2.840	4.124	9,17	345
José da Penha	3.339	5.704	12,68	289,2
Luís Gomes	7.330	13.022	32,56	659
Major Sales	2.872	5.453	12,12	342
Marcelino Vieira	4.909	7.116	17,79	257
Mata de São Braz (*)	856	1.209	2,69	304
Paraná	1.633	2.503	5,56	398,1
Pau dos Ferros	26.221	40.266	100,66	208
Pilões	2.817	5.517	12,26	282,9
Rafael Fernandes	5.390	10.156	25,39	246,62
Riacho de Santana	2.020	3.835	8,52	290,45
Tenente Ananias	5.625	7.769	19,42	362
Total	77.246	121.316	294,33	—

Fonte: CAERN (2026).

Conforme apresentado no Quadro 5, a população total projetada para o ano de 2038 corresponde a 121.316 habitantes, distribuídos entre as localidades atendidas pelo sistema. A vazão total estimada para abastecimento humano foi de 294,33 L/s, valor adotado como referência para representar a demanda prioritária do sistema associado à Barragem de Pau dos Ferros.

A demanda de abastecimento humano foi convertida para unidades compatíveis com a modelagem hidrológica, permitindo sua inserção no balanço hídrico do reservatório. Como os dados foram disponibilizados em litros por segundo (L/s), realizou-se a conversão para volume diário, mensal e anual, conforme a necessidade da etapa de análise. Para a conversão da vazão em volume diário, utilizou-se a Equação 1:

$$\text{Demanda diária (m}^3\text{/dia)} = \text{Vazão (L/s)} \times 86,4$$

Para a estimativa mensal, considerou-se o número de dias de cada mês, conforme indicado na Equação 2:

$$\text{Demanda mensal (m}^3\text{/mês)} = \text{Demanda diária (m}^3\text{/dia)} \times \text{número de dias do mês}$$

Aplicando-se a Equação 1 à vazão total de 294,33 L/s, obteve-se uma demanda diária aproximada de 25.430,11 m³/dia. Considerando operação contínua ao longo do ano, esse valor corresponde a aproximadamente 9.281.990,88 m³/ano, ou 9,28 hm³/ano.

A demanda relacionada à dessedentação animal foi estimada a partir de informações obtidas junto ao Instituto de Defesa e Inspeção Agropecuária do Rio Grande do Norte (IDIARN) e ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), complementadas por observações realizadas durante as visitas técnicas ao entorno do reservatório. Foram considerados os rebanhos identificados nas áreas de influência da Barragem de Pau dos Ferros, especialmente em localidades situadas nos municípios de Pau dos Ferros e Rafael Fernandes.

O quantitativo de animais identificado no entorno da barragem é apresentado na Tabela 1, contemplando bovinos, ovinos, caprinos, suínos, equinos, aves, muares e asininos. Esses dados serviram como base para o cálculo da demanda hídrica destinada à dessedentação animal.

Tabela 1 – Quantitativo de animais identificados no entorno da Barragem

Município	Localidade	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Suínos	Equinos	Aves	Aves	Asininos
Pau dos Ferros	Sítio Retiro	150	48	13	33	16	120	4	1
Pau dos Ferros	Sítio Sorriso	186	183	41	190	25	1202	0	9
Pau dos Ferros	Sítio Barragem	119	232	99	233	7	507	0	2
Rafael Fernandes	Sítio Cacimbas	1031	915	288	562	90	3956	19	14
Rafael Fernandes	Sítio Boi Morto	525	275	132	248	34	1189	5	3
Total		1738	1653	573	1266	172	6985	28	29

Fonte: IDIARN e DNOCS (2026)

A estimativa dessa demanda foi realizada a partir da multiplicação do quantitativo de animais pelo consumo médio diário de água por espécie. Os coeficientes adotados devem ser informados com base em fonte técnica, preferencialmente o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, da ANA (2013), ou outra referência técnica efetivamente utilizada, conforme apresentado na Equação 3:

$$\text{Demanda animal (L/dia)} = \text{Quantidade de animais} \times \text{Consumo médio diário por animal}$$

A partir do quantitativo apresentado na Tabela 1, aplicaram-se os coeficientes médios de consumo hídrico por espécie. Para fins de cálculo, equinos, muares e asininos foram agrupados na categoria de equídeos, totalizando 229 animais. A estimativa da demanda hídrica diária para dessedentação animal é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa da demanda hídrica para dessedentação animal no entorno da Barragem de Pau dos Ferros

Espécie animal	Quantidade considerada	Consumo unitário (L/animal/dia)	Consumo total (L/dia)	Consumo total (m³/dia)
Bovinos	1.738	80	139.040,00	139,04
Ovinos	1.653	40	66.120,00	66,12
Caprinos	573	30	17.190,00	17,19
Suínos	1.266	30	37.980,00	37,98
Equídeos ¹	229	40	9.160,00	9,16
Aves	6.985	0,2	1.397,00	1,397
Total	—	—	270.887,00	270,887

Fonte: Adaptado (2026), com base em dados do IDIARN e DNOCS (2026).

¹ Equídeos: soma de equinos, muares e asininos. No levantamento original aparecem 172 equinos, 28 muares e 29 asininos, totalizando 229 animais.

Conforme apresentado na Tabela 2, a demanda total estimada para dessedentação animal foi de 270.887,00 L/dia, equivalente a aproximadamente 270,887 m³/dia. Em escala anual, considerando consumo contínuo ao longo de 365 dias, esse valor corresponde a aproximadamente 98.873,76 m³/ano, ou 0,099 hm³/ano.

A demanda associada à agricultura irrigada foi analisada a partir da identificação das áreas agrícolas localizadas no entorno da bacia hidráulica da Barragem de Pau dos Ferros. Essa etapa foi necessária porque parte dos usos agrícolas pode não estar integralmente

registrada nas bases institucionais, exigindo a complementação das informações por meio de análise espacial e observação visual.

Para essa etapa, foram delimitados polígonos correspondentes às áreas com indícios de produção agrícola no entorno do reservatório. Foram considerados como critérios de identificação: presença de parcelas agrícolas regulares, coloração diferenciada da vegetação em relação à Caatinga adjacente, proximidade com o espelho d'água, evidências visuais de uso produtivo e informações observadas em campo. As áreas identificadas são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Áreas de produção agrícola no entorno da bacia hidráulica da Barragem de Pau dos Ferros



Fonte: Adaptado (2026), com base em imagem de satélite e delimitação das áreas agrícolas.

A identificação dessas áreas permitiu reconhecer a existência de usos agrícolas no entorno do reservatório e subsidiar a análise qualitativa das demandas associadas aos usos múltiplos da água. No entanto, considerando a ausência de informações consolidadas sobre a área total irrigada, culturas predominantes, lâmina de irrigação adotada e eficiência dos sistemas utilizados, a demanda agrícola foi tratada como uso complementar observado, sem estimativa quantitativa individualizada nesta etapa da pesquisa.

Essa delimitação metodológica foi adotada com o objetivo de evitar a superestimação ou subestimação da demanda agrícola, uma vez que a quantificação precisa desse uso exigiria levantamento específico de área irrigada, identificação das culturas, coeficientes de consumo e regime de irrigação. Assim, a análise espacial foi utilizada como evidência da presença de

atividade agrícola no entorno da barragem, contribuindo para a caracterização dos usos múltiplos do reservatório e para a discussão sobre potenciais pressões sobre a disponibilidade hídrica.

Além das demandas associadas ao abastecimento humano, à dessedentação animal e às atividades agrícolas identificadas no entorno da bacia hidráulica, também foram considerados os usos localizados a jusante da Barragem de Pau dos Ferros e demais usos observados durante o levantamento da pesquisa. Essa etapa teve caráter complementar, com o objetivo de reconhecer possíveis pressões adicionais sobre o sistema hídrico e ampliar a compreensão dos usos múltiplos vinculados ao reservatório.

Os usos a jusante foram analisados a partir de informações institucionais e observações realizadas em campo, buscando identificar a existência de captações, usos produtivos, dessedentação animal, atividades agrícolas ou outras formas de aproveitamento da água no trecho posterior à barragem. Nesta pesquisa, esses usos foram tratados como componente qualitativo da análise, uma vez que não foram identificadas informações suficientes para estimar, com precisão, uma demanda quantitativa contínua associada a esse grupo de uso.

Dessa forma, optou-se por não inserir vazão fixa específica para os usos agrícolas e a jusante na consolidação quantitativa principal, evitando a superestimação das demandas consideradas na modelagem. Esses usos foram incorporados à pesquisa como elementos de apoio à análise qualitativa dos usos múltiplos da Barragem de Pau dos Ferros e à interpretação das possíveis pressões complementares sobre o reservatório.

3.4.1 Demanda para abastecimento humano

A demanda para abastecimento humano foi considerada a principal demanda associada à Barragem de Pau dos Ferros, tendo em vista sua função estratégica no atendimento de municípios e localidades do Alto Oeste Potiguar. Em conformidade com a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, o consumo humano constitui uso prioritário da água em situações de escassez, juntamente com a dessedentação animal (Brasil, 1997). Dessa forma, a quantificação dessa demanda foi necessária para subsidiar a construção dos cenários de simulação e avaliar a capacidade do reservatório em atender ao uso prioritário.

Os dados utilizados foram fornecidos pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), considerando as localidades atendidas pelo sistema associado à Barragem de Pau dos Ferros. As informações contemplam a população de referência para o

ano de 2009, a população projetada para 2038, a vazão estimada para o horizonte de 2038 e a cota do reservatório relacionada ao atendimento de cada localidade, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Dados de abastecimento humano considerados na pesquisa

Localidade	População projetada		Vazão 2038 (L/s)	Cota do reservatório (m)
	2009	2038		
Alexandria	9.318	10.701	26,75	377
Água Nova	2.076	3.941	8,76	290
Caiçara (*)	2.840	4.124	9,17	345
José da Penha	3.339	5.704	12,68	289,2
Luís Gomes	7.330	13.022	32,56	659
Major Sales	2.872	5.453	12,12	342
Marcelino Vieira	4.909	7.116	17,79	257
Mata de São Braz (*)	856	1.209	2,69	304
Paraná	1.633	2.503	5,56	398,1
Pau dos Ferros	26.221	40.266	100,66	208
Pilões	2.817	5.517	12,26	282,9
Rafael Fernandes	5.390	10.156	25,39	246,62
Riacho de Santana	2.020	3.835	8,52	290,45
Tenente Ananias	5.625	7.769	19,42	362
Total	77.246	121.316	294,33	—

Fonte: CAERN (2026).

Conforme apresentado no Quadro 4, a população total projetada para o ano de 2038 corresponde a 121.316 habitantes, distribuídos entre as localidades atendidas pelo sistema. A vazão total estimada para abastecimento humano foi de 294,33 L/s, valor adotado como referência para representar a demanda prioritária do sistema associado à Barragem de Pau dos Ferros.

Para possibilitar a inserção da demanda na modelagem hidrológica, a vazão informada em litros por segundo foi convertida para volume diário, mensal e anual. A conversão da vazão para volume diário foi realizada pela Equação 4:

$$\text{Demanda diária (m}^3\text{/dia)} = \text{Vazão (L/s)} \times 86,4$$

Aplicando-se essa relação à vazão total de 294,33 L/s, obteve-se uma demanda diária aproximada de 25.430,11 m³/dia. Considerando operação contínua ao longo do ano, esse valor corresponde a aproximadamente 9.281.990,88 m³/ano, ou 9,28 hm³/ano.

Dessa forma, a demanda de abastecimento humano foi tratada como uso prioritário nos cenários de simulação, servindo como referência para avaliar a capacidade de atendimento do reservatório diante de diferentes condições de armazenamento. A adoção da projeção de 2038 permitiu trabalhar com uma condição futura de demanda, conferindo caráter preventivo à análise da segurança hídrica regional.

3.4.2 Demanda para dessedentação animal

A demanda para dessedentação animal foi considerada como uso prioritário associado à Barragem de Pau dos Ferros, uma vez que a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que, em situações de escassez, o consumo humano e a dessedentação animal devem ter prioridade sobre os demais usos da água (Brasil, 1997). Essa demanda foi estimada com o objetivo de representar o consumo hídrico dos rebanhos existentes no entorno do reservatório e subsidiar a composição das demandas inseridas nos cenários de simulação.

O levantamento do quantitativo de animais foi realizado a partir de dados obtidos junto ao Instituto de Defesa e Inspeção Agropecuária do Rio Grande do Norte (IDIARN) e de informações complementares associadas ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Foram considerados os principais rebanhos identificados nas áreas de influência da Barragem de Pau dos Ferros, incluindo bovinos, ovinos, caprinos, suínos, equídeos e aves.

Para estimar o consumo hídrico diário, aplicou-se a relação entre o número de animais de cada espécie e o respectivo coeficiente médio de consumo de água. Os coeficientes adotados foram definidos com base em parâmetros técnicos de consumo hídrico animal, considerando valores compatíveis com estimativas de usos consuntivos da água (ANA, 2013). A demanda foi calculada pela Equação 5:

$$\text{Demanda animal diária} = \text{quantidade de animais} \times \text{consumo médio diário por animal}$$

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, a demanda total estimada para dessedentação animal foi de 270.887,0 L/dia, equivalente a aproximadamente 270,887 m³/dia. Em escala anual, considerando consumo contínuo ao longo de 365 dias, esse valor corresponde a aproximadamente 98.873,76 m³/ano, ou 0,099 hm³/ano.

Embora essa demanda seja inferior à demanda de abastecimento humano, sua inclusão na pesquisa é necessária por se tratar de uso prioritário em situação de escassez. Além disso, a presença de rebanhos no entorno do reservatório representa uma pressão adicional sobre a disponibilidade hídrica, especialmente em períodos de redução do volume armazenado.

Dessa forma, a demanda para dessedentação animal foi incorporada aos cenários de simulação como componente prioritário, juntamente com o abastecimento humano. Essa consideração permitiu avaliar a capacidade da Barragem de Pau dos Ferros em atender aos usos essenciais diante de diferentes condições hidrológicas e operacionais.

3.4.3 Demanda associada à agricultura irrigada

A demanda associada à agricultura irrigada foi analisada a partir da identificação das áreas agrícolas localizadas no entorno da bacia hidráulica da Barragem de Pau dos Ferros. Essa etapa teve caráter complementar na pesquisa, pois parte dos usos agrícolas existentes no entorno do reservatório pode não estar integralmente registrada nas bases institucionais consultadas, exigindo a utilização de análise espacial e observação visual da área de estudo.

Para essa identificação, foram utilizadas imagens de satélite e interpretação visual das áreas com indícios de uso produtivo. Foram considerados como critérios de reconhecimento a presença de parcelas agrícolas com formas regulares, coloração diferenciada da vegetação em relação à Caatinga adjacente, proximidade com o espelho d'água do reservatório e evidências de ocupação agrícola nas margens da bacia hidráulica. Conforme apresentado na Figura 4, essas áreas se concentram em pontos próximos ao reservatório, indicando a presença de atividades agrícolas associadas ao uso da água armazenada.

A identificação dessas áreas permitiu reconhecer a presença de atividades agrícolas no entorno do reservatório e compreender sua relação com os usos múltiplos da água. No entanto, considerando a ausência de informações consolidadas sobre a área total efetivamente irrigada, as culturas predominantes, a lâmina de irrigação adotada e a eficiência dos sistemas utilizados, a demanda agrícola foi tratada como uso complementar observado, sem estimativa quantitativa individualizada nesta etapa da pesquisa.

Essa delimitação metodológica foi adotada com o objetivo de evitar a superestimação ou subestimação da demanda agrícola, uma vez que sua quantificação precisa exigiria levantamento específico das áreas irrigadas, identificação das culturas cultivadas, definição de coeficientes de consumo hídrico e conhecimento do regime de irrigação utilizado. Assim, a análise espacial foi empregada como evidência da presença de uso agrícola no entorno da Barragem de Pau dos Ferros, contribuindo para a caracterização dos usos múltiplos do reservatório.

Embora não tenha sido quantificada de forma individualizada, a presença de áreas agrícolas no entorno da bacia hidráulica foi considerada relevante para a análise da segurança hídrica, pois indica a existência de pressões complementares sobre o reservatório. Em períodos de redução do volume armazenado, esses usos podem se tornar mais sensíveis às restrições operacionais, principalmente quando há necessidade de priorização do abastecimento humano e da dessedentação animal, conforme previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Dessa forma, a demanda agrícola foi incorporada à discussão metodológica como componente qualitativo dos usos múltiplos da Barragem de Pau dos Ferros, servindo de apoio à interpretação dos cenários de disponibilidade hídrica e à compreensão das possíveis pressões existentes sobre o sistema. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de levantamento específico das áreas irrigadas, com uso de geoprocessamento, validação em campo, identificação das culturas e aplicação de coeficientes técnicos de necessidade hídrica, conforme parâmetros utilizados para estimativa de usos consuntivos da água (ANA, 2013).

3.4.4 Usos a jusante e demais usos observados

Além das demandas associadas ao abastecimento humano, à dessedentação animal e às atividades agrícolas identificadas no entorno da bacia hidráulica, também foram considerados os usos localizados a jusante da Barragem de Pau dos Ferros e demais usos observados durante o levantamento da pesquisa. Essa etapa teve caráter complementar, com o objetivo de reconhecer possíveis pressões adicionais sobre o sistema hídrico e ampliar a compreensão dos usos múltiplos vinculados ao reservatório.

Os usos a jusante foram analisados a partir de informações institucionais e observações realizadas em campo, buscando identificar a existência de captações, usos produtivos, dessedentação animal, atividades agrícolas ou outras formas de aproveitamento da água no trecho posterior à barragem. Essa verificação foi necessária porque, em reservatórios do semiárido, os usos localizados a jusante podem não estar plenamente sistematizados em bases oficiais, especialmente quando ocorrem de maneira difusa, eventual ou sem regularidade operacional.

Nesta pesquisa, os usos a jusante foram tratados como componente qualitativo da análise, uma vez que não foram identificadas informações suficientes para estimar, com precisão, uma demanda quantitativa contínua associada a esse grupo de uso. Dessa forma, optou-se por não inserir uma vazão fixa específica para os usos a jusante na consolidação quantitativa principal, evitando a superestimação das demandas consideradas na modelagem.

Essa decisão metodológica foi adotada em razão da ausência de dados consolidados sobre volume captado, frequência de uso, finalidade específica, usuários envolvidos e regularidade das retiradas. Para que essa demanda fosse quantificada de forma mais precisa, seria necessário realizar levantamento específico de campo, com identificação dos pontos de captação, entrevistas com usuários, registros de vazão, análise de outorgas e confirmação da existência de liberações regulares a partir da barragem.

Apesar de não ter sido quantificado individualmente, o reconhecimento dos usos a jusante é importante para a interpretação da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros,

pois indica que o reservatório pode exercer influência além da sua bacia hidráulica imediata. Em períodos de maior disponibilidade, esses usos podem ocorrer com menor impacto sobre o sistema; entretanto, em situações de escassez, tendem a exigir maior controle e definição de prioridades, especialmente diante da necessidade legal de priorizar o abastecimento humano e a dessedentação animal (Brasil, 1997).

Também foram considerados como demais usos observados aqueles relacionados à pesca, lazer, pequenas atividades produtivas e usos eventuais nas margens do reservatório. Esses usos não foram incorporados como demandas quantitativas na simulação, por apresentarem caráter difuso e por não haver dados suficientes sobre retirada efetiva de água. Ainda assim, foram registrados na caracterização dos usos múltiplos, pois contribuem para compreender a relevância social e territorial da barragem no contexto do Alto Oeste Potiguar.

Dessa forma, os usos a jusante e os demais usos observados foram incorporados à pesquisa como elementos de apoio à análise qualitativa dos usos múltiplos da Barragem de Pau dos Ferros. Essa abordagem permitiu reconhecer a existência de possíveis pressões complementares sobre o reservatório sem comprometer a consistência dos dados quantitativos utilizados na modelagem. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de levantamento específico desses usos, incluindo consulta às outorgas, mapeamento dos pontos de captação, entrevistas com usuários e medição das vazões efetivamente retiradas.

3.5 Definição dos estados hidrológicos

A definição dos estados hidrológicos foi realizada com o objetivo de estabelecer faixas operacionais de armazenamento para a Barragem de Pau dos Ferros, permitindo relacionar o volume disponível no reservatório às condições de atendimento das demandas hídricas. Essa etapa foi necessária para subsidiar a construção dos cenários de simulação e orientar a análise da segurança hídrica do sistema sob diferentes condições de disponibilidade.

A metodologia adotada tomou como referência os critérios utilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico na definição de estados hidrológicos e curvas-guias para reservatórios estratégicos, especialmente conforme orientações da Nota Técnica ANA nº 11/2020. Segundo essa abordagem, o volume armazenado no reservatório pode ser classificado em faixas operacionais, associadas a diferentes níveis de segurança, atenção ou criticidade, permitindo antecipar medidas de gestão, restrição ou priorização dos usos da água (ANA, 2020).

Para a Barragem de Pau dos Ferros, os estados hidrológicos foram definidos com base no volume armazenado, expresso em hectômetros cúbicos (hm³), considerando a capacidade máxima do reservatório e os volumes estratégicos necessários ao atendimento das demandas prioritárias. Foram adotados três estados hidrológicos operacionais: Estado Hidrológico Verde, Estado Hidrológico Amarelo e Estado Hidrológico Vermelho.

O Estado Hidrológico Verde representa a condição de maior segurança operacional, na qual o reservatório apresenta volume suficiente para o atendimento das demandas prioritárias e dos demais usos observados, sem necessidade imediata de restrições. Nessa condição, o sistema apresenta maior margem de segurança para enfrentar períodos de estiagem e variações nas demandas.

O Estado Hidrológico Amarelo corresponde à condição de atenção, caracterizada pela redução do volume armazenado e pela necessidade de intensificação do monitoramento. Nesse estado, recomenda-se a adoção de medidas preventivas de racionalização do uso da água, acompanhamento mais frequente dos volumes e avaliação da necessidade de restrições graduais aos usos não prioritários.

O Estado Hidrológico Vermelho representa a condição crítica do reservatório, na qual o volume armazenado se aproxima de níveis que podem comprometer a segurança hídrica do sistema. Nessa situação, devem ser priorizados o abastecimento humano e a dessedentação animal, conforme estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo recomendada a restrição ou suspensão dos usos complementares e não prioritários (Brasil, 1997).

Quadro 6 – Critérios adotados para definição dos estados hidrológicos da Barragem de Pau dos Ferros

Estado hidrológico	Faixa de armazenamento adotada	Condição operacional	Diretriz de gestão
Estado Hidrológico Verde	Volume superior a 46,50 hm ³	Condição confortável de armazenamento	Atendimento das demandas prioritárias e manutenção dos demais usos observados
Estado Hidrológico Amarelo	Volume entre 9,00 hm ³ e 46,50 hm ³	Condição de atenção	Monitoramento intensificado, racionalização do uso da água e restrição preventiva dos usos não prioritários
Estado Hidrológico Vermelho	Volume inferior a 9,00 hm ³	Condição crítica	Priorização do abastecimento humano e da dessedentação animal; restrição ou suspensão dos usos complementares
Volume mínimo operacional	Aproximadamente 1,22 hm ³	Condição de severa restrição operacional	Elevado risco de comprometimento do abastecimento

Fonte: Adaptado (2026), com base nos critérios metodológicos da ANA (2020) e nos dados operacionais da Barragem de Pau dos Ferros.

Com base na análise do comportamento volumétrico do reservatório e nos critérios operacionais definidos para o estudo, foram adotados os limites apresentados no Quadro 6.

Os limites definidos no Quadro 6 foram utilizados para orientar a interpretação dos cenários simulados. O valor superior a 46,50 hm³ foi associado ao Estado Hidrológico Verde, indicando situação de maior segurança hídrica. A faixa entre 9,00 hm³ e 46,50 hm³ foi associada ao Estado Hidrológico Amarelo, representando condição intermediária, na qual o reservatório ainda possui capacidade de atendimento, mas já exige maior controle operacional. Os volumes inferiores a 9,00 hm³ foram classificados como Estado Hidrológico Vermelho, indicando condição crítica e necessidade de priorização dos usos essenciais.

Além dessas faixas, foi considerado o volume mínimo operacional de aproximadamente 1,22 hm³, correspondente ao limite abaixo do qual o sistema passa a apresentar severas restrições para captação e atendimento das demandas. Esse valor foi utilizado como referência para identificar situações de maior risco operacional no reservatório.

A definição dos estados hidrológicos também considerou o horizonte de planejamento adotado na simulação. O período simulado foi estruturado para representar uma condição conservadora de escassez, contemplando ciclos de estiagem e baixa recuperação do volume armazenado. Essa escolha metodológica permitiu avaliar a capacidade de suporte da Barragem de Pau dos Ferros diante da continuidade das demandas e da possibilidade de redução progressiva do armazenamento.

Dessa forma, os estados hidrológicos foram utilizados como instrumento de apoio à análise da segurança hídrica, permitindo classificar as condições de armazenamento do reservatório e associá-las a diretrizes operacionais específicas. Essa classificação contribuiu para a construção dos cenários simulados no *AcquaNet*, nos quais foram avaliadas diferentes condições de atendimento das demandas prioritárias e de preservação dos volumes estratégicos do reservatório.

3.6 Simulação de cenários no *AcquaNet*

A simulação de cenários foi realizada com o objetivo de avaliar o comportamento volumétrico da Barragem de Pau dos Ferros diante das demandas hídricas consolidadas e das perdas por evaporação, considerando diferentes condições de armazenamento do reservatório. Essa etapa permitiu analisar a capacidade de atendimento do sistema ao longo do horizonte

simulado e verificar em que momento o reservatório poderia atingir os estados hidrológicos definidos no tópico anterior.

As simulações foram desenvolvidas no software *LabSid AcquaNet* 2013, ferramenta utilizada para análise de sistemas de recursos hídricos por meio de balanço hídrico e representação de reservatórios, demandas e regras operacionais. No presente estudo, o modelo foi estruturado de forma simplificada, considerando a Barragem de Pau dos Ferros como reservatório principal e as demandas associadas ao abastecimento humano e à dessedentação animal como retiradas prioritárias do sistema.

O horizonte de simulação adotado foi de 24 meses, com passo temporal mensal. Essa escolha permitiu representar a evolução do volume armazenado ao longo de dois ciclos anuais, possibilitando observar o comportamento do reservatório em uma condição conservadora de estiagem prolongada. A simulação foi realizada considerando a continuidade das demandas ao longo do período e a incidência das perdas mensais por evaporação.

Para representar as perdas por evaporação, foi utilizado o vetor mensal de evaporação disponibilizado na ficha técnica da Barragem de Pau dos Ferros/RN, integrante do estudo Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação, elaborado pela Agência Nacional de Águas em parceria com a *Engecorps Engenharia S.A.* (ANA; Engecorps Engenharia S.A., 2016). Esse vetor apresenta valores mensais em milímetros, totalizando 2.432 mm anuais, sendo utilizado no modelo para representar a sazonalidade das perdas hídricas do reservatório.

Os valores adotados foram: 212 mm em janeiro, 143 mm em fevereiro, 114 mm em março, 110 mm em abril, 137 mm em maio, 155 mm em junho, 193 mm em julho, 254 mm em agosto, 278 mm em setembro, 294 mm em outubro, 280 mm em novembro e 263 mm em dezembro. A adoção desse vetor permitiu incorporar ao modelo uma das principais perdas do sistema, especialmente relevante em reservatórios localizados no semiárido, onde a evaporação exerce forte influência sobre a redução do volume armazenado.

Os dados de entrada utilizados no *AcquaNet* foram organizados a partir das etapas anteriores da metodologia, incluindo o volume inicial do reservatório, a capacidade máxima de armazenamento, as demandas hídricas quantificadas, os estados hidrológicos e o vetor mensal de evaporação. O Quadro 7 apresenta a síntese dos principais parâmetros considerados na modelagem.

Quadro 7 – Parâmetros utilizados na simulação de cenários no *AcquaNet*

Parâmetro	Valor/critério adotado	Fonte/finalidade
Software utilizado	<i>LabSid AcquaNet</i> 2013	Modelagem e simulação do comportamento hídrico do reservatório
Horizonte de simulação	24 meses	Avaliar o comportamento volumétrico em dois ciclos anuais
Passo temporal	Mensal	Representar a evolução mês a mês do volume armazenado
Capacidade máxima do reservatório	Aproximadamente 55 hm ³	Referência para armazenamento máximo da Barragem de Pau dos Ferros
Volume mínimo operacional	Aproximadamente 1,22 hm ³	Referência de severa restrição operacional
Demanda de abastecimento humano	294,33 L/s	Dados da CAERN; demanda prioritária do sistema
Demanda de abastecimento humano anual	Aproximadamente 9,28 hm ³ /ano	Conversão da vazão de 294,33 L/s para volume anual
Demanda para dessedentação animal	270,887 m ³ /dia	Estimativa com base em dados do IDIARN, DNOCS e coeficientes da ANA
Demanda para dessedentação animal anual	Aproximadamente 0,099 hm ³ /ano	Conversão da demanda diária para volume anual
Vetor de evaporação	2.432 mm/ano, distribuídos mensalmente	ANA; Engecorps Engenharia S.A. (2016)
Estados hidrológicos	Verde, Amarelo e Vermelho	Classificação operacional do volume armazenado

Fonte: Adaptado (2026), com base em dados da CAERN, IDIARN, DNOCS, ANA (2013), ANA (2020) e ANA; Engecorps Engenharia S.A. (2016).

A estruturação dos cenários teve como finalidade avaliar a resposta do reservatório diante da permanência das demandas prioritárias e da perda contínua por evaporação. Assim, foram considerados cenários de esvaziamento progressivo, nos quais o volume armazenado foi acompanhado mensalmente até atingir os limites definidos para os estados hidrológicos. Essa abordagem permitiu verificar o tempo de permanência do reservatório em cada faixa operacional e identificar o risco de transição para situações de atenção ou criticidade.

A demanda de abastecimento humano foi inserida como uso prioritário, considerando a vazão total de 294,33 L/s, correspondente à projeção de atendimento informada pela CAERN para o horizonte de 2038. A demanda de dessedentação animal também foi considerada prioritária, em conformidade com a Lei nº 9.433/1997, que estabelece a prioridade do consumo humano e da dessedentação animal em situações de escassez (Brasil, 1997).

As demandas agrícolas e os usos localizados a jusante não foram inseridos como vazões fixas individualizadas na simulação, em razão da ausência de dados suficientes para sua quantificação precisa. Esses usos foram considerados de forma qualitativa na interpretação dos resultados, conforme descrito nos tópicos anteriores, evitando a superestimação das retiradas do reservatório. Essa opção metodológica preserva a

consistência da modelagem, uma vez que apenas as demandas com base quantitativa definida foram incorporadas diretamente ao balanço hídrico.

A simulação foi conduzida a partir de volumes iniciais representativos de diferentes condições de armazenamento do reservatório. Esses volumes foram selecionados com base na série histórica analisada, de modo a possibilitar a avaliação do comportamento da barragem em condições distintas de disponibilidade hídrica. A escolha dos volumes iniciais permitiu comparar situações de maior segurança com cenários de menor armazenamento, contribuindo para a análise da capacidade de suporte do sistema.

Durante a modelagem, os resultados foram avaliados a partir da evolução do volume armazenado, da permanência em cada estado hidrológico e do tempo necessário para que o reservatório atingisse faixas críticas. Essa análise permitiu relacionar os resultados da simulação aos critérios de gestão definidos para os estados Verde, Amarelo e Vermelho, oferecendo subsídios para a discussão sobre segurança hídrica e tomada de decisão.

Dessa forma, a simulação no *AcquaNet* foi utilizada como instrumento de apoio à análise da Barragem de Pau dos Ferros, permitindo representar o comportamento do reservatório diante das demandas prioritárias e das perdas por evaporação. Os cenários simulados contribuíram para avaliar a capacidade de atendimento do sistema, identificar condições de risco e subsidiar a proposição de estratégias de gestão mais preventivas e compatíveis com a realidade hídrica do semiárido.

3.7 Tratamento, análise e limitações dos dados

Após o levantamento dos dados hidrológicos, das demandas hídricas e dos parâmetros operacionais utilizados na simulação, as informações foram organizadas, padronizadas e tratadas com o objetivo de garantir coerência entre as unidades, os períodos de análise e os dados de entrada do modelo. Essa etapa foi necessária porque as informações utilizadas na pesquisa foram obtidas em diferentes fontes institucionais e apresentavam formatos distintos, como vazões em litros por segundo, volumes em metros cúbicos, volumes em hectômetros cúbicos, consumo diário e dados mensais de evaporação.

Inicialmente, os dados referentes ao volume armazenado da Barragem de Pau dos Ferros foram organizados em planilha eletrônica, considerando a série histórica de fevereiro de 2000 a fevereiro de 2025. Os volumes foram padronizados em hectômetros cúbicos (hm³), unidade adotada para a análise do comportamento volumétrico do reservatório e para a

comparação com sua capacidade máxima de armazenamento. A partir dessa organização, foi possível elaborar a representação gráfica do histórico volumétrico e identificar períodos de recuperação, redução progressiva e criticidade hídrica.

As demandas hídricas quantificadas também foram convertidas para unidades compatíveis com a modelagem. A demanda de abastecimento humano, originalmente apresentada em litros por segundo (L/s), foi convertida para metros cúbicos por dia, metros cúbicos por ano e hectômetros cúbicos por ano. A demanda de dessedentação animal, estimada em litros por dia, também foi convertida para metros cúbicos por dia e hectômetros cúbicos por ano. Essas conversões permitiram a comparação entre os diferentes usos e sua posterior inserção nos cenários simulados.

Os dados de evaporação foram tratados a partir do vetor mensal disponibilizado para a Barragem de Pau dos Ferros no estudo Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação, elaborado pela ANA e pela Engecorps Engenharia S.A. (ANA; Engecorps Engenharia S.A., 2016). Esse vetor foi mantido em escala mensal, respeitando a sazonalidade das perdas por evaporação ao longo do ano, e utilizado como parâmetro de entrada na simulação realizada no *AcquaNet*.

A análise dos dados foi realizada em duas etapas complementares. A primeira consistiu na análise descritiva dos dados levantados, com a identificação dos principais usos da água, das demandas prioritárias e do comportamento histórico do reservatório. A segunda consistiu na análise dos cenários simulados, considerando a evolução do volume armazenado, a permanência do reservatório em cada estado hidrológico e o tempo necessário para atingir faixas de atenção ou criticidade. Essa interpretação foi realizada com base nos estados hidrológicos definidos para o estudo, permitindo relacionar os resultados da modelagem às condições de segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros.

Os resultados da simulação foram interpretados de forma articulada aos objetivos da pesquisa, especialmente no que se refere à capacidade do reservatório em atender às demandas prioritárias de abastecimento humano e dessedentação animal. Os usos agrícolas e os usos localizados a jusante foram considerados de forma complementar e qualitativa, uma vez que não havia informações suficientes para sua quantificação precisa. Essa decisão metodológica buscou preservar a consistência dos dados utilizados na modelagem e evitar a superestimação das retiradas do reservatório.

Apesar dos cuidados adotados no tratamento dos dados, a pesquisa apresenta limitações metodológicas que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A primeira limitação refere-se ao uso de dados secundários provenientes de diferentes

instituições, os quais podem apresentar diferenças de atualização, escala, metodologia de coleta e finalidade original. Embora tenham sido utilizados dados oficiais e institucionais, a compatibilização dessas informações exigiu padronização e interpretação técnica.

Outra limitação está relacionada à demanda de abastecimento humano, que foi baseada em dados da CAERN com projeção populacional e vazão estimada para o horizonte de 2038. Embora essa escolha permita uma análise preventiva da segurança hídrica, os valores podem variar em função de mudanças populacionais, alterações no sistema de abastecimento, perdas na distribuição, expansão urbana, mudanças no consumo per capita e eventuais reforços hídricos futuros.

A demanda de dessedentação animal também apresenta limitações, pois foi estimada a partir do quantitativo de animais identificado e de coeficientes médios de consumo por espécie. Esses coeficientes são úteis para estimativas gerais, mas o consumo real pode variar conforme idade, porte, manejo, temperatura, regime alimentar, disponibilidade de pastagem e condições climáticas. Dessa forma, os valores estimados representam uma aproximação técnica da demanda animal no entorno do reservatório.

Em relação à agricultura irrigada, a principal limitação refere-se à ausência de dados consolidados sobre área efetivamente irrigada, culturas cultivadas, lâmina de irrigação, eficiência dos sistemas e regime de captação. Por esse motivo, a demanda agrícola não foi inserida como vazão fixa individualizada na simulação, sendo tratada como uso complementar observado a partir da análise espacial e das evidências de uso agrícola no entorno da barragem.

Os usos localizados a jusante também foram tratados de forma qualitativa, devido à inexistência de dados suficientes sobre pontos de captação, volume retirado, frequência de uso, usuários envolvidos e regularidade das liberações. Para sua quantificação precisa, seriam necessários levantamentos específicos de campo, consulta às outorgas, entrevistas com usuários e medições diretas de vazão.

A simulação no *AcquaNet* também apresenta limitações inerentes ao processo de modelagem. O modelo utilizado representa uma simplificação do sistema real, considerando parâmetros e hipóteses definidos para a pesquisa. Assim, os cenários simulados não devem ser interpretados como previsão absoluta do comportamento futuro do reservatório, mas como instrumentos de análise para compreender tendências, riscos e respostas possíveis diante de determinadas condições de armazenamento, demanda e evaporação.

Quadro 8 – Principais limitações metodológicas da pesquisa

Aspecto analisado	Limitação identificada	Tratamento adotado na pesquisa
Dados institucionais	Diferenças de fonte, escala, atualização e finalidade dos dados	Padronização das unidades e uso de fontes oficiais
Abastecimento humano	Uso de projeção populacional e vazão estimada para 2038	Adoção como cenário preventivo de demanda futura
Dessedentação animal	Uso de coeficientes médios de consumo por espécie	Estimativa técnica aproximada da demanda animal
Agricultura irrigada	Ausência de área irrigada consolidada, culturas e lâmina de irrigação	Tratamento qualitativo como uso complementar observado
Usos a jusante	Ausência de dados sobre captações, vazões e frequência de uso	Consideração qualitativa na análise dos usos múltiplos
Evaporação	Uso de vetor mensal de referência da ficha técnica do reservatório	Incorporação da sazonalidade mensal das perdas no modelo
Modelagem no <i>AcquaNet</i>	Representação simplificada do comportamento real do reservatório	Uso dos resultados como apoio à análise de cenários, e não como previsão absoluta

Fonte: Autoria própria (2026).

Dessa forma, o tratamento e a análise dos dados buscaram garantir coerência metodológica, transparência e rastreabilidade das informações utilizadas. As limitações identificadas não invalidam os resultados, mas delimitam o alcance da pesquisa e indicam a necessidade de estudos complementares, especialmente para quantificação detalhada dos usos agrícolas, usos a jusante, perdas operacionais, outorgas existentes e eventuais contribuições hídricas futuras ao sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Consolidação das demandas hídricas associadas à Barragem de Pau dos Ferros

A consolidação das demandas hídricas permitiu identificar os principais usos associados à Barragem de Pau dos Ferros e compreender sua importância para a segurança hídrica do Alto Oeste Potiguar. Foram consideradas, inicialmente, as demandas relacionadas ao abastecimento público, aos demais usos no entorno do reservatório e aos usos localizados a jusante. Esses grupos de uso foram utilizados para estruturar os cenários de modelagem hidrológica, permitindo avaliar o comportamento do reservatório diante de diferentes níveis de atendimento.

Conforme os dados fornecidos pela CAERN, a demanda projetada para abastecimento público no horizonte de 2038 corresponde a 294,33 L/s. Esse valor representa a vazão oficial associada às localidades atendidas pelo sistema e constitui a referência principal para a demanda de abastecimento humano. Entretanto, em uma etapa preliminar da modelagem, foi adotada a vazão de 343 L/s como cenário operacional conservador, com o objetivo de avaliar o comportamento do reservatório sob uma condição de maior pressão de retirada.

Essa distinção é importante porque evita a incompatibilidade entre os dados institucionais e os parâmetros simulados. Assim, a vazão de 294,33 L/s corresponde ao dado oficial da CAERN para 2038, enquanto o valor de 343 L/s, quando mantido na modelagem, deve ser interpretado como uma condição de teste mais restritiva, adotada para verificar a resposta do reservatório em cenário de maior demanda. Caso se opte por trabalhar exclusivamente com o valor oficial da CAERN, recomenda-se a atualização das tabelas e das simulações no *AcquaNet*.

A Tabela 3 apresenta as demandas consideradas na modelagem hidrológica, distribuídas mensalmente. Observa-se que, na versão original da simulação, foram adotados valores constantes para o abastecimento público, demais usos no entorno e usos a jusante.

Tabela 3 – Demandas consideradas na modelagem hidrológica

Finalidades	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
CAERN – Abastecimento público	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	342,99	343
Demais usos no entorno	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38,35	38
Usos a jusante	0	0	0	0	0	0	0	0	771,6	0	0	0	64
TOTAL (L/s)	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	446

Fonte: CAERN (2026).

Os demais usos no entorno e os usos a jusante foram considerados na modelagem como componentes complementares, com o objetivo de representar pressões adicionais sobre o reservatório. No entanto, esses usos exigem atenção metodológica, pois sua quantificação depende de informações específicas sobre captações, frequência de uso, vazões retiradas, áreas atendidas e regularidade operacional. Dessa forma, quando não houver dados suficientes para sua comprovação, esses usos devem ser interpretados como estimativas operacionais ou tratados de forma qualitativa na discussão dos resultados.

Essa diferenciação entre demandas oficiais, demandas estimadas e usos complementares é essencial para a consistência do trabalho. A demanda de abastecimento humano possui base institucional fornecida pela CAERN, enquanto os demais usos no entorno e a jusante dependem de validação complementar. Portanto, sua utilização nos cenários deve ser acompanhada de justificativa técnica, evitando interpretações que possam superestimar a retirada real do reservatório.

4.2 Estados hidrológicos e curva-guia operacional do reservatório

A definição dos estados hidrológicos permitiu associar o volume armazenado na Barragem de Pau dos Ferros a diferentes condições de operação e atendimento das demandas. Foram considerados três estados: Estado Hidrológico Verde, Estado Hidrológico Amarelo e Estado Hidrológico Vermelho. Essa classificação tem como finalidade orientar a tomada de decisão, indicando quando o sistema se encontra em condição confortável, de atenção ou de criticidade.

O Estado Hidrológico Verde representa a condição de maior segurança, na qual o reservatório apresenta volume suficiente para atendimento integral das demandas consideradas. O Estado Hidrológico Amarelo corresponde à situação intermediária, em que se torna necessário intensificar o monitoramento e adotar medidas preventivas de racionalização dos usos. Já o Estado Hidrológico Vermelho representa a condição crítica, na qual devem ser

priorizados o abastecimento humano e a dessedentação animal, conforme previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

A Tabela 4 apresenta os percentuais de atendimento definidos para cada estado hidrológico. No Estado Verde, considera-se o atendimento integral das demandas. No Estado Amarelo, há redução parcial dos usos complementares, especialmente aqueles associados aos demais usos no entorno. No Estado Vermelho, são aplicadas restrições mais severas, com priorização dos usos essenciais e descarte dos usos a jusante.

Tabela 4 – Percentuais de atendimento das demandas por estado hidrológico

EH VERDE		EH AMARELO		EH VERMELHO	
%	L/s	%	L/s	%	L/s
100%	343,0	100%	343,0	75%	257,2
100%	38,4	50%	19,2	9%	3,5
100%	64,3	0%	0,0	0%	0,0
	445,6		362,2		260,8

Fonte: Autoria própria (2026).

A adoção desses percentuais permite transformar os estados hidrológicos em regras operacionais de atendimento. Assim, os volumes armazenados deixam de ser apenas valores descritivos e passam a orientar decisões práticas de gestão, como manutenção, redução ou suspensão de determinados usos. Essa abordagem dialoga com a proposta da ANA (2020), ao utilizar faixas de armazenamento e curvas-guias como instrumentos de apoio à operação de reservatórios estratégicos.

4.3 Simulação dos cenários de esvaziamento no *AcquaNet*

A curva-guia foi construída com o objetivo de representar graficamente os estados hidrológicos da Barragem de Pau dos Ferros e os cenários simulados ao longo do horizonte de análise. Conforme apresentado na Figura 5, a área verde representa a condição de maior segurança hídrica, a faixa amarela indica condição de atenção e a faixa vermelha corresponde à situação crítica do reservatório.

4.4 Cenários operacionais utilizados na modelagem

Com base nos estados hidrológicos definidos, foram estruturados três cenários operacionais para a modelagem hidrológica. Esses cenários representam diferentes condições de atendimento das demandas, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Cenários operacionais utilizados na modelagem hidrológica

Finalidades	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	%	L/s	Condições de uso	%	L/s	Condições de uso	%	L/s	Condições de uso
CAERN - Abastecimento público	100%	343	Uso total	100%	343	Uso total	75%	257	Uso parcial
Demais usos no entorno	100%	38,4	Uso total	50%	19,2	Uso parcial	9%	3,5	Uso parcial
Usos a jusante	100%	64	Apenas Setembro	0%	0	Descartado	0%	0	Descartado
TOTAL (L/s)		446			362			261	

Fonte: CAERN (2026).

O Cenário 1 corresponde à condição de atendimento integral das demandas consideradas. Nesse cenário, o abastecimento público, os demais usos no entorno e os usos a jusante são mantidos conforme os valores totais definidos na modelagem. Essa condição representa uma situação de maior disponibilidade hídrica e menor necessidade de restrição operacional.

O Cenário 2 representa uma condição intermediária, associada ao Estado Hidrológico Amarelo. Nesse caso, o abastecimento público é mantido integralmente, enquanto os demais usos no entorno são reduzidos parcialmente e os usos a jusante são descartados. Essa configuração busca preservar os usos essenciais e reduzir pressões complementares sobre o reservatório.

O Cenário 3 representa uma condição restritiva, associada ao Estado Hidrológico Vermelho. Nesse cenário, o abastecimento público é reduzido parcialmente, os demais usos no entorno são fortemente restringidos e os usos a jusante são descartados. Essa situação representa uma condição crítica de operação, na qual a prioridade é prolongar a capacidade de atendimento dos usos essenciais e evitar o esgotamento acelerado do reservatório.

Essa estrutura de cenários permite avaliar diferentes estratégias de gestão diante da redução do volume armazenado. Ao associar percentuais de atendimento aos estados hidrológicos, a modelagem passa a representar não apenas o esvaziamento físico do reservatório, mas também possíveis decisões operacionais em situações de escassez.

4.5 Simulação dos cenários no *AcquaNet*

As simulações foram realizadas no software *LabSid AcquaNet* 2013, adotando horizonte temporal de 24 meses e passo mensal. A padronização do horizonte em 24 meses corrige a inconsistência anteriormente observada no texto, em que havia menção a 20 meses em determinados trechos. Assim, todas as análises de cenário passam a considerar o mesmo intervalo temporal.

Na modelagem, foram considerados o volume inicial do reservatório, as demandas associadas a cada cenário operacional e as perdas mensais por evaporação. A simulação adotou uma condição conservadora, sem considerar aportes hídricos significativos ao longo do período analisado. Essa escolha teve como objetivo avaliar a capacidade de suporte da barragem em uma situação de estiagem prolongada, na qual a continuidade das retiradas e das perdas por evaporação reduz progressivamente o volume armazenado.

A ausência de aportes deve ser compreendida como hipótese de estresse hídrico, e não como previsão absoluta do comportamento futuro do reservatório. Em condições reais, a barragem pode receber contribuições decorrentes de chuvas na bacia de drenagem ou de reforços hídricos externos. No entanto, a simulação sem aporte permite verificar a vulnerabilidade do sistema diante de uma condição desfavorável e subsidiar a formulação de estratégias preventivas de gestão.

4.5.1 Cenário 1 – Atendimento integral das demandas

O Cenário 1 considerou o atendimento integral das demandas definidas na modelagem. Esse cenário representa a condição de maior pressão sobre o reservatório, uma vez que todos os usos considerados são mantidos ao longo do horizonte de 24 meses. A evolução simulada do volume armazenado é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Simulação do Cenário 1



Fonte: Autoria própria (2026), a partir de simulação no software *LabSid AcquaNet* (2013).

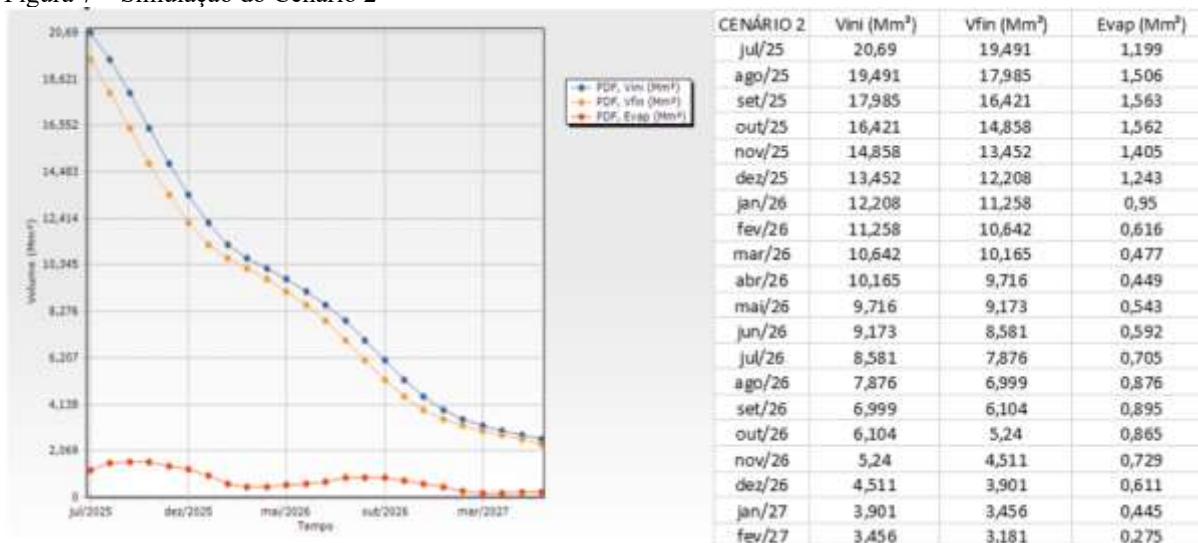
Conforme observado na Figura 8, o volume armazenado apresenta redução progressiva ao longo do período simulado. O reservatório parte de aproximadamente 20,69 hm³ e atinge, ao final do horizonte analisado, volume próximo de 1,56 hm³. Esse comportamento indica deplecionamento acentuado do sistema quando todas as demandas são mantidas integralmente e não há aportes hídricos significativos.

Esse resultado demonstra que o atendimento integral das demandas, em condição de estiagem prolongada, reduz rapidamente a margem de segurança do reservatório. Sob a perspectiva de Hashimoto, Stedinger e Loucks (1982), o Cenário 1 apresenta baixa confiabilidade no médio prazo, pois o sistema se aproxima de níveis operacionais críticos antes do final do período simulado. A vulnerabilidade também se eleva, uma vez que a redução do volume aumenta o risco de comprometimento do atendimento.

4.5.2 Cenário 2 – Atendimento parcial das demandas complementares

O Cenário 2 foi estruturado como condição intermediária, associada ao Estado Hidrológico Amarelo. Nesse cenário, o abastecimento público foi mantido integralmente, enquanto os demais usos no entorno foram reduzidos parcialmente e os usos a jusante foram descartados. A evolução do volume armazenado nesse cenário é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Simulação do Cenário 2



Fonte: Autoria própria (2026), a partir de simulação no software *LabSid AcquaNet* (2013).

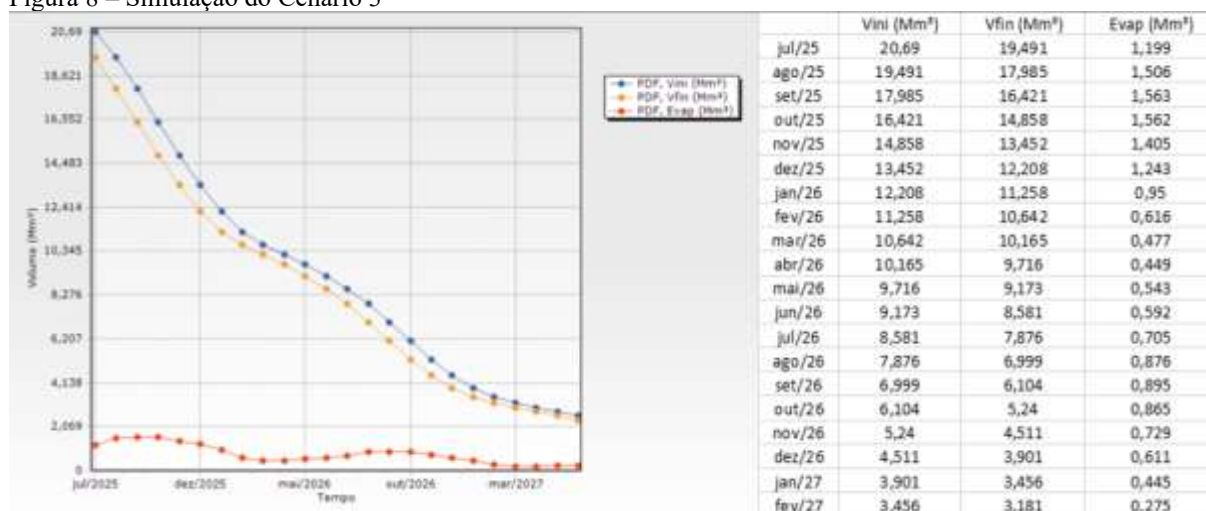
A Figura 9 indica que a redução parcial das demandas complementares contribui para atenuar o esvaziamento do reservatório, embora o volume continue apresentando tendência de queda ao longo dos 24 meses. Ao final do período simulado, o volume armazenado permanece superior ao observado no Cenário 1, evidenciando que a restrição de usos não prioritários pode prolongar a capacidade de atendimento do sistema.

Esse resultado reforça a importância da adoção de medidas graduais de gestão antes que o reservatório atinja o Estado Hidrológico Vermelho. A redução preventiva dos usos complementares aumenta a confiabilidade do sistema e reduz a vulnerabilidade em relação ao cenário de atendimento integral. Entretanto, como não foram considerados aportes hídricos, a resiliência permanece limitada, pois o sistema não apresenta recuperação volumétrica ao longo do período.

4.5.3 Cenário 3 – Atendimento restritivo em condição crítica

O Cenário 3 representa uma condição crítica de operação, associada ao Estado Hidrológico Vermelho. Nesse cenário, o abastecimento público foi reduzido parcialmente, os demais usos no entorno foram fortemente restringidos e os usos a jusante foram descartados. A simulação desse cenário é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Simulação do Cenário 3



Fonte: Autoria própria (2026), a partir de simulação no software *LabSid AcquaNet* (2013).

Conforme apresentado na Figura 10, a adoção de restrições mais severas reduz a velocidade de esvaziamento do reservatório quando comparada ao cenário de atendimento integral. A redução das demandas permite maior permanência do volume armazenado em faixas operacionais menos críticas, contribuindo para prolongar a capacidade de atendimento dos usos essenciais.

Esse cenário evidencia que a adoção de regras operacionais associadas aos estados hidrológicos pode contribuir para reduzir a vulnerabilidade do sistema. No entanto, mesmo com restrições, a ausência de aportes impede a recuperação volumétrica do reservatório, demonstrando que a resiliência da barragem depende não apenas da redução das demandas, mas também da ocorrência de recarga hídrica ou de fontes complementares de abastecimento.

4.6 Discussão dos resultados à luz da segurança hídrica

Os resultados das simulações indicam que a segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros depende da relação entre volume inicial armazenado, demandas atendidas, perdas por evaporação e ocorrência de aportes hídricos. A comparação entre os cenários demonstra que a manutenção integral das demandas acelera o esvaziamento do reservatório, enquanto a adoção de restrições graduais contribui para prolongar sua capacidade de atendimento.

A análise confirma que os estados hidrológicos funcionam como instrumentos importantes de gestão, pois permitem associar faixas de armazenamento a medidas operacionais específicas. Em vez de reagir apenas quando o reservatório já se encontra em

condição crítica, a definição dos estados Verde, Amarelo e Vermelho permite antecipar medidas de controle, racionalização e priorização dos usos.

Essa lógica está alinhada à perspectiva de gestão adaptativa dos recursos hídricos. Dias, Pessoa e Teixeira (2022) destacam que a segurança hídrica no semiárido exige capacidade institucional para lidar com incertezas climáticas, riscos e necessidade de ajustes contínuos. Nesse contexto, a simulação de cenários contribui para antecipar situações de escassez e subsidiar decisões mais preventivas.

Os resultados também podem ser interpretados com base nos critérios de desempenho propostos por Hashimoto, Stedinger e Loucks (1982): confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. A confiabilidade está relacionada à capacidade do sistema de atender às demandas ao longo do tempo. Nos cenários simulados, essa confiabilidade diminui à medida que o volume armazenado se aproxima dos limites críticos. A resiliência refere-se à capacidade de recuperação após uma condição desfavorável; nesse caso, mostrou-se limitada, pois a modelagem não considerou aportes hídricos ao reservatório. Já a vulnerabilidade aumenta à medida que o sistema se aproxima do Estado Hidrológico Vermelho, pois as consequências de uma eventual falha no atendimento tornam-se mais severas.

Dessa forma, a análise ultrapassa uma leitura meramente descritiva dos gráficos e permite compreender o comportamento da Barragem de Pau dos Ferros como um sistema sujeito a falhas, restrições e necessidade de gestão adaptativa. Os cenários simulados demonstram que a adoção de regras operacionais associadas aos estados hidrológicos pode contribuir para reduzir riscos, orientar prioridades e fortalecer a segurança hídrica regional.

Por fim, os resultados reforçam que a segurança hídrica do reservatório não depende apenas de sua capacidade máxima de armazenamento, mas da combinação entre disponibilidade hídrica, controle das demandas, redução de perdas, definição de prioridades e capacidade de resposta institucional. Nesse sentido, a Barragem de Pau dos Ferros deve ser compreendida como uma infraestrutura estratégica, cuja operação exige monitoramento contínuo, planejamento preventivo e articulação entre os diferentes atores envolvidos na gestão da água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou a contribuição da definição de estados hidrológicos e da simulação de cenários operacionais para o fortalecimento da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros, considerando as demandas hídricas associadas ao reservatório e sua capacidade de atendimento aos usos prioritários no Alto Oeste Potiguar. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que a utilização desses instrumentos contribui para compreender o comportamento do reservatório, identificar situações de atenção e criticidade e subsidiar decisões relacionadas à gestão da água em períodos de escassez.

O problema de pesquisa foi respondido ao demonstrar que os estados hidrológicos e a simulação de cenários podem contribuir diretamente para o fortalecimento da segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros. Os estados hidrológicos permitem classificar o volume armazenado em faixas operacionais, indicando condições de maior segurança, atenção ou criticidade. A simulação de cenários, por sua vez, possibilita avaliar a evolução do volume disponível diante das demandas e das perdas por evaporação, permitindo antecipar riscos e apoiar medidas preventivas de gestão.

Os resultados evidenciaram que a Barragem de Pau dos Ferros apresenta comportamento hidrológico marcado por oscilações expressivas de armazenamento, refletindo a dependência do reservatório em relação ao regime de chuvas do semiárido. A análise da série histórica demonstrou a ocorrência de períodos de recuperação hídrica, mas também de forte redução dos volumes armazenados, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de planejamento operacional.

A consolidação das demandas hídricas permitiu identificar o abastecimento humano como o principal uso associado ao reservatório. A demanda projetada pela CAERN para o horizonte de 2038, correspondente a 294,33 L/s, foi adotada como referência para o abastecimento público. A dessedentação animal também foi considerada por se tratar de uso prioritário em situações de escassez, totalizando aproximadamente 270,887 m³/dia. Os usos agrícolas, os demais usos no entorno e os usos a jusante foram caracterizados de forma qualitativa, em razão da ausência de dados suficientes para sua quantificação precisa, evitando a superestimação das retiradas consideradas na modelagem.

A definição dos estados hidrológicos Verde, Amarelo e Vermelho mostrou-se adequada para relacionar os volumes armazenados às condições operacionais do reservatório. Essa classificação permite orientar medidas graduais de gestão, como manutenção do atendimento, intensificação do monitoramento, racionalização do uso da água e priorização dos usos essenciais em condições críticas. Assim, os estados hidrológicos constituem

instrumento relevante para tornar a operação do reservatório mais previsível, transparente e tecnicamente fundamentada.

As simulações realizadas no *AcquaNet*, com horizonte padronizado de 24 meses, permitiram avaliar o comportamento do reservatório sob diferentes condições operacionais. A modelagem considerou uma condição conservadora, sem aporte hídrico significativo durante o período simulado, o que possibilitou analisar a capacidade de suporte da barragem em cenário de estiagem prolongada. Os resultados indicaram que a manutenção integral das demandas tende a acelerar o esvaziamento do reservatório, enquanto a adoção de restrições graduais contribui para prolongar sua capacidade de atendimento.

A análise dos cenários também permitiu interpretar o desempenho do sistema a partir dos conceitos de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade propostos por Hashimoto, Stedinger e Loucks (1982). A confiabilidade tende a diminuir à medida que o volume armazenado se aproxima dos limites críticos. A resiliência mostrou-se limitada nos cenários sem aporte, uma vez que o reservatório não apresentou recuperação volumétrica ao longo do período simulado. A vulnerabilidade aumenta quando o sistema se aproxima do Estado Hidrológico Vermelho, indicando maior risco de comprometimento do atendimento aos usos prioritários.

Dessa forma, conclui-se que os objetivos do estudo foram atendidos, pois a pesquisa caracterizou o comportamento hidrológico da barragem, identificou e estimou as principais demandas com dados disponíveis, definiu estados hidrológicos, simulou cenários operacionais e avaliou suas implicações para a segurança hídrica regional. Os resultados demonstram que a segurança hídrica da Barragem de Pau dos Ferros não depende apenas da sua capacidade máxima de armazenamento, mas da articulação entre volume disponível, controle das demandas, perdas por evaporação, ocorrência de aportes e regras de operação.

Em relação ao Projeto de Integração do Rio São Francisco, destaca-se que sua incorporação ao sistema hídrico regional poderá alterar positivamente as condições de disponibilidade da Barragem de Pau dos Ferros, especialmente em períodos de escassez. No entanto, como este estudo não realizou simulação específica considerando aportes do PISF, não se pode afirmar de forma conclusiva que essa integração, isoladamente, garantirá a segurança hídrica regional. Seu potencial benefício dependerá da regularidade dos aportes, da operação integrada do sistema, do controle das demandas e da adoção de critérios adequados de gestão.

Conclui-se, portanto, que a Barragem de Pau dos Ferros possui papel estratégico para a segurança hídrica do Alto Oeste Potiguar, especialmente pelo atendimento ao abastecimento

humano e à dessedentação animal. A aplicação de estados hidrológicos e de simulações de cenários mostrou-se uma ferramenta relevante para apoiar a tomada de decisão, orientar medidas preventivas e fortalecer a gestão dos recursos hídricos no semiárido. Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se aprofundar a quantificação das áreas irrigadas, dos usos a jusante, das outorgas existentes, das perdas operacionais e dos cenários com aporte hídrico externo, incluindo possíveis contribuições do PISF.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Manual de usos consuntivos da água no Brasil. Brasília, DF: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Nota Técnica nº 11/2020: critérios para definição de estados hidrológicos e elaboração de curvas-guias para reservatórios estratégicos. Brasília: ANA, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Resolução nº 46, de 26 de outubro de 2020. Regulamenta o Termo de Alocação de Água para sistemas hídricos com corpos de água de domínio da União. Brasília, DF: ANA, 2020.
- AMARAL, R. F. Governança hídrica e segurança hídrica no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2020.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- CARDOSO, M. L. de M. Avaliação da implantação de estruturas hídricas no atendimento das demandas na região do Alto Oeste Potiguar. 2021. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- CIRILO, José Almir. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**, v. 22, p. 61-82, 2008.
- CORREIA, Rafaella Iliana Alves Arcila. Gestão de recursos hídricos: governança e gerenciamento de conflitos pelo uso da água em região do Semiárido Nordeste. 2014.
- DE MELO SOUZA, Nadja Gláucia et al. Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do semiárido brasileiro. **BIOFARM-Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 12, n. 3, 2016.
- DIAS, E. M. S.; PESSOA, Z. S.; TEIXEIRA, R. L. P. Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido. *Mercator*, Fortaleza, v. 21, e21025, 2022.
- DIAS, Eric Mateus Soares; PESSOA, Zoraide Souza; TEIXEIRA, Rylanneive Leonardo Pontes. Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido. **Mercator (Fortaleza)**, v. 21, p. e21025, 2022. Disponível em: <https://adcon.rn.gov.br/acervo/idema/doc/doc000000000013919.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2026.
- FAUSTO, Jozadake Petry et al. Planejamento urbano e segurança hídrica: gestão integrada do uso do solo, da drenagem e do saneamento na proteção dos recursos hídricos nas cidades. **Veredas do Direito**, v. 23, n. 6, p. e235790-e235790, 2026. Disponível em: <https://www.periodicos.univag.com.br/index.php/Vernacula/article/view/2349>. Acesso em: 06 jul. 2026.

FERNANDES, C.; LACERDA, J. A. S. Demanda, oferta e a gestão hídrica da Barragem de Pau dos Ferros/RN. *Acta Geográfica, Boa Vista*, v. 16, n. 42, p. 101-119, set./dez. 2022.

GREY, D.; SADOFF, C. W. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, London, v. 9, n. 6, p. 545-571, 2007.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, Washington, v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982. DOI: 10.1029/WR018i001p00014. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/WR018i001p00014>. Acesso em: 25 jun. 2026.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). Perfil do seu município: Pau dos Ferros. Natal: IDEMA, 2008. v. 10, 22 p. Disponível em: <https://adcon.rn.gov.br/acervo/idema/doc/doc000000000013919.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2026.

MAIDMENT, D. R. (ed.). *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993.

MELO, M. C. de; JOHNSON, R. M. F. O conceito emergente de segurança hídrica. *Sustentare, Três Corações*, v. 1, n. 1, p. 72-92, 2017.

MILHORANCE, Carolina et al. O desafio da integração de políticas públicas para a adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2019.

MIRANDA, I. F. de. Gestão dos recursos hídricos na Barragem de Pau dos Ferros – RN. 2024. Monografia (Graduação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2024.

MONTEIRO, Ari Machado; DA COSTA, Carine Zachariadhes Pinto R.; PEREIRA, Jaildo Santos. Garantindo a segurança hídrica como um direito humano fundamental: análise dos marcos regulatórios internacionais e nacionais. **VERNÁCULA-Territórios Contemporâneos**, v. 1, n. 4, 2023. Disponível em: <https://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/5790/27479>. Acesso em: 06 jul. 2026.

PEREIRA, V. R.; RODRIGUEZ, D. A. Vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil frente às mudanças climáticas. *Derbyana, São Paulo*, v. 43, e777, 2022.

RIBEIRO, S. L. Considerações iniciais sobre a segurança hídrica do Brasil. *Revista Brasileira de Estudos de Defesa, Porto Alegre*, v. 4, n. 1, p. 155-180, 2017.

SAITO, Carlos Hiroo. Segurança hídrica e direito humano à água. **Ética, direito socioambiental e democracia**, p. 94-108, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/pZqsCPJbJr6MphYsYWRxhPm/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 06 jul. 2026.

SALES JÚNIOR, F. V. Barragem subterrânea como tecnologia de convivência com o semiárido: o caso do Território da Cidadania do Alto Oeste Potiguar. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SANTOS, T. M. dos; ESTEVAM, S. M.; BARRETO FILHO, B. de F. A percepção dos atores sociais sobre a influência da Barragem de Pau dos Ferros para o desenvolvimento local. *Journal of Urban Technology and Sustainability*, v. 7, n. 1, p. 1-25, 2024.

SILVA, J. A.; LOPES, F. H. Integração de bacias hidrográficas e segurança hídrica no Nordeste brasileiro. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 1-14, 2019.

SILVA, JOSÉ IRIVALDO ALVES OLIVEIRA; LEITE, ANDÉA FERREIRA; DE SOUSA, CIDOVAL Moraes. Apropriação social da água nas comunidades rurais do semiárido: os desafios da governança. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 19, n. 2, 2023.

SILVA, R. M.; NOBRE, P. Dinâmica climática e impactos sobre reservatórios no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 18, p. 85-102, 2016.

UNESCO. Managing water under uncertainty and risk: the United Nations World Water Development Report 4. Paris: UNESCO, 2012.

UN-WATER. Water security and the global water agenda: a UN-Water analytical brief. Hamilton: United Nations University, 2013.

VIEIRA, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 8, n. 2, p. 7-17, 2003.