



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

OSÉIAS FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES ASSOCIADAS À TRANSPOSIÇÃO DO RIO
SÃO FRANCISCO NA BARRAGEM DE PAU DOS FERROS/RN: ASPECTOS
TÉCNICOS E IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA E RURAL**

PAU DOS FERROS

2026

OSÉIAS FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES ASSOCIADAS À TRANSPOSIÇÃO DO RIO
SÃO FRANCISCO NA BARRAGEM DE PAU DOS FERROS/RN: ASPECTOS
TÉCNICOS E IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA E RURAL**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: José Daniel Jales Silva, 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.

S581a Silva, Oséias Fernandes.
Análise das intervenções associadas à
transposição do rio São Francisco na barragem de
Pau Dos Ferros/RN: Aspectos técnicos e impactos
na mobilidade urbana e rural / Oséias Fernandes
Silva. - 2026.
71 f. : il.

Orientador: José Daniel Jales Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2026.

1. infraestrutura hídrica. 2. desenvolvimento
regional. 3. acessibilidade. 4. segurança hídrica.
5. semiárido brasileiro. I. Silva, José Daniel
Jales, orient. II. Título.

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

OSÉIAS FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES ASSOCIADAS À TRANSPOSIÇÃO DO RIO
SÃO FRANCISCO NA BARRAGEM DE PAU DOS FERROS/RN: ASPECTOS
TÉCNICOS E IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA E RURAL**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 02 / 07 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

José Daniel Jales Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Kaelly de Freitas Silva, Profa. (UFERSA)
Membro Examinador

Marília Cavalcanti Santiago, Profa. Me.
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à memória dos meus avós, que viveram as dificuldades impostas pela seca e pela escassez de água no sertão. Que esta pesquisa represente uma singela homenagem à sua geração, que sonhou com dias de maior segurança hídrica e esperança para o nosso povo.

(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me sustentado ao longo de toda esta graduação, concedendo-me força, sabedoria e a fé necessária para perseverar até a concretização deste sonho. À Nossa Senhora Aparecida, por sua constante intercessão, proteção e por nunca permitir que eu desanimasse diante das dificuldades.

Aos meus pais, Aldai e Olavo, todo o meu amor e minha eterna gratidão. Obrigado por terem feito muito além do que podiam para que eu chegasse até aqui. Cada renúncia, cada incentivo e cada sacrifício realizados por vocês tornaram possível esta conquista, que também lhes pertence.

Aos meus familiares que partiram antes de testemunhar a conclusão desta jornada iniciada em 2020, minha saudosa lembrança e gratidão. Em especial, à minha avó Maurina (*in memoriam*), cuja lembrança permanece viva em meu coração e cuja presença, mesmo na ausência, sempre foi fonte de inspiração.

À Marina, meu amor, por caminhar ao meu lado durante esta jornada. Obrigado por acreditar em mim até nos momentos em que eu próprio duvidei, por me incentivar constantemente e por jamais permitir que eu esquecesse que seria capaz de alcançar este objetivo.

Aos meus amigos, que compartilharam este sonho desde o início, celebraram cada conquista, ofereceram apoio nos momentos difíceis e permanecem ao meu lado até hoje. A amizade de vocês tornou esta caminhada mais leve e significativa.

Ao meu orientador, Professor José Daniel, expresso minha sincera gratidão pela confiança, disponibilidade, paciência e pelos valiosos ensinamentos transmitidos ao longo da elaboração deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa e para meu crescimento acadêmico e profissional.

A todos os professores que contribuíram para minha formação ao longo do curso, pelos conhecimentos compartilhados, pelo incentivo à busca constante pelo aprendizado e pelo compromisso com a educação.

EPÍGRAFE

"A esperança não decepciona."
Romanos 5:5

RESUMO

A crescente necessidade de ampliação da segurança hídrica no semiárido brasileiro impulsionou a execução do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), cujas obras demandaram intervenções estruturais em diversos reservatórios estratégicos da região. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar as intervenções associadas à transposição do rio São Francisco na Barragem Dr. Pedro Diógenes Fernandes, localizada no município de Pau dos Ferros/RN, com enfoque nos aspectos técnicos das obras e nos impactos sobre as mobilidades urbana e rural. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter descritivo e exploratório. Os procedimentos metodológicos envolveram levantamento bibliográfico e documental, análise de projetos e registros institucionais, interpretação de imagens de satélite e realização de visitas técnicas à área de estudo. Os resultados permitiram caracterizar as principais intervenções executadas para adequação da barragem ao recebimento das águas do PISF, destacando-se a implantação da nova tomada d'água com comportas, a execução de enrocamentos para dissipação de energia e proteção estrutural, a construção de ensecadeira provisória e as adequações hidráulicas destinadas ao controle operacional do reservatório. Constatou-se que tais intervenções ampliaram a capacidade operacional da infraestrutura hídrica e contribuíram para a integração do sistema de abastecimento regional. Entretanto, verificou-se que o aumento do nível operacional do reservatório e das vazões liberadas intensificou a frequência de alagamentos em travessias sobre o Rio Apodi-Mossoró, ocasionando interrupções temporárias da mobilidade, especialmente no acesso ao bairro São Geraldo e às comunidades rurais situadas a jusante da barragem. Conclui-se que as obras desempenham papel estratégico para a segurança hídrica regional, porém evidenciam a necessidade de investimentos complementares em infraestrutura viária, drenagem, dispositivos de travessia e planejamento urbano, de forma a compatibilizar os benefícios da integração hídrica com a segurança e a continuidade da mobilidade da população.

Palavras-chave: infraestrutura hídrica; desenvolvimento regional; acessibilidade; segurança hídrica; semiárido brasileiro.

ABSTRACT

The increasing need to improve water security in the Brazilian semiarid region has driven the implementation of the São Francisco River Integration Project (PISF), whose construction required structural interventions in several strategic reservoirs. In this context, this study aimed to analyze the interventions associated with the São Francisco River transposition at the Dr. Pedro Diógenes Fernandes Dam, located in the municipality of Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, focusing on the technical aspects of the engineering works and their impacts on urban and rural mobility. This research is characterized as an applied case study with a qualitative approach and descriptive and exploratory purposes. The methodological procedures included bibliographic and documentary research, analysis of engineering projects and institutional records, interpretation of satellite imagery, and technical field visits to the study area. The results allowed the characterization of the main interventions carried out to adapt the dam for receiving water from the PISF, including the construction of a new water intake structure with gates, riprap protection works for energy dissipation and structural stabilization, the installation of a temporary cofferdam, and hydraulic improvements for reservoir operation. The findings indicate that these interventions increased the operational capacity of the hydraulic infrastructure and strengthened the regional water supply system. However, the higher operating water levels and increased downstream discharges intensified flooding events at crossings over the Apodi-Mossoró River, causing temporary interruptions in mobility, particularly affecting access to the São Geraldo neighborhood and nearby rural communities. It is concluded that the implemented works play a strategic role in regional water security but also highlight the need for complementary investments in transport infrastructure, drainage systems, river crossings, and urban planning to reconcile the benefits of water integration with safe and continuous mobility.

Keywords: water infrastructure; regional development; accessibility; water security; Brazilian semiarid region.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Aqueduto sobre riacho localizado em Cachoeira dos Índios/PB-----	18
Figura 2 -	Localização dos canais e bacias do PISF-----	19
Figura 3 -	Traçado do Eixo Norte e rios receptores-----	20
Figura 4 -	Construção dos canais do Eixo Norte, trecho na cidade de Uiraúna/PB-----	21
Figura 5 -	Dissipador de energia em degraus na Barragem do Tambor em Cachoeira dos Índios/PB-----	22
Figura 6 -	Perfil longitudinal do Trecho IV-----	23
Figura 7 -	Esquema de corte transversal de uma barragem de aterro-----	24
Figura 8 -	Barragem de Pau dos Ferros/RN maio de 2026-----	25
Figura 9 -	Estruturas hidráulicas e principais componentes da Barragem de Pau dos Ferros-RN-----	26
Figura 10 -	Vertedouro da Barragem de Pau dos Ferros-RN durante evento de sangria em 2023-----	28
Figura 11 -	Simulação da implantação de uma passagem molhada em travessia rural----	29
Figura 12 -	Dispositivos de sinalização lateral em passagem molhada-----	31
Figura 13 -	Alagamento e inundação no centro de Pau dos Ferros/RN após chuvas intensas ocorridas em 26 de janeiro de 2019-----	33
Figura 14 -	Acesso ao bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN 09 de abril de 2023----	35
Figura 15 -	Acesso ao bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN 13 de maio de 2026---	36
Figura 16 -	Carta das áreas e pontos com risco de inundação na cidade de Pau dos Ferros/RN-----	38
Figura 17 -	Fluxograma da pesquisa-----	41
Figura 18 -	Localização do município de Pau dos Ferros-RN-----	42

Figura 19 - Imagem de satélite com identificação das áreas de análise-----	43
Figura 20 - Vista aérea do local de intervenção na Barragem de Pau dos Ferros/RN-----	47
Figura 21 - Área de intervenção e canal de saída do vertedouro da Barragem de Pau dos Ferros/RN-----	48
Figura 22 - Construção das comportas à direita do vertedouro da Barragem de Pau dos Ferros/RN-----	49
Figura 23 - Seção longitudinal da tomada d'água-----	50
Figura 24 - Vista de satélite da área de implantação das comportas da Barragem de Pau dos Ferros-RN, com indicação dos principais elementos da obra e registro fotográfico das estruturas em construção-----	51
Figura 25 - Enrocamento ao final da saída da tomada d'água-----	52
Figura 26 - Localização dos pontos de travessia sobre o Rio Apodi-Mossoró nas áreas urbana e rural de Pau dos Ferros/RN-----	54
Figura 27 - Vista de satélite da passagem molhada da via de acesso ao Complexo Turístico Serrote do Jatobá e Sítio Taboleiro Grande em Pau dos Ferros/RN-	55
Figura 28 - Vista de satélite do reservatório situado a montante da tomada d'água-----	56
Figura 29 - Vista de satélite das conexões do centro urbano com o bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN-----	57
Figura 30 - Vista de satélite da conexão da BR-226 com o bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN-----	58
Figura 31 - Registro espacial da passagem molhada, evidenciando a proximidade entre a lâmina d'água e a infraestrutura de travessia-----	59
Figura 32 - Condições estruturais da passagem molhada, evidenciando necessidade de readequação do greide-----	60
Figura 33 - Vista de satélite da passagem molhada na rua Antônio Gurjão no Bairro São Geraldo em Pau Dos Ferros/RN -----	61

Figura 34 - Recuperação do pavimento da passagem molhada da Rua Antônio Gurjão no Bairro São Geraldo em Pau Dos Ferros/RN -----	62
Figura 35 - Condições estruturais da passagem molhada na Rua Antônio Gurjão no Bairro São Geraldo em Pau Dos Ferros/RN, evidenciando necessidade de readequação do pavimento-----	63
Figura 36 - Condição da travessia hidráulica de acesso ao Complexo Turístico Serrote do Jatobá e Sítio Taboleiro Grande em Pau dos Ferros/RN, evidenciando limitação da capacidade de escoamento-----	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Precipitação anual por estação de coleta em mm em Pau dos Ferros/RN (Posto Particular) entre 2024 e 2026-----	34
Tabela 2	– Pontos com risco de inundação na cidade de Pau dos Ferros/RN-----	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
IGARN	Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
NMO	Nível mínimo operacional
OAC	Obras de Arte Correntes
OAE	Obras de Arte Especiais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos	17
3	REVISÃO TEÓRICA	18
3.1	Projeto de Integração do Rio São Francisco: contexto, estrutura e implicações territoriais	18
3.2	Barragem de Pau dos Ferros/RN	24
3.3	Passagens Molhadas: Conceitos, Tipologias e Critérios de Projeto	28
3.4	Mobilidade urbana e rural em áreas influenciadas por variações hidrológicas	32
3.5	Vulnerabilidades locais e infraestrutura de travessia em Pau dos Ferros/RN	34
4	METODOLOGIA	41
4.1	Definição do objeto de estudo	41
4.2	Revisão e levantamento de dados	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Caracterização técnica das intervenções e análise hidráulica da Barragem de Pau dos Ferros	46
5.2	Expectativas de transformação no cenário hidrológico regional	53
5.3	Diagnóstico dos pontos críticos de mobilidade	54
5.4	Análise da vulnerabilidade das estruturas de travessias	58
5.5	Investigação das demandas para readequação da infraestrutura de transportes	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A transposição do Rio São Francisco configura-se como uma das mais relevantes obras de infraestrutura hídrica do Brasil, concebida com o objetivo de mitigar os efeitos da escassez de água no semiárido nordestino e promover o desenvolvimento dessa região. Historicamente marcada pela irregularidade pluviométrica e pela limitação no acesso aos recursos hídricos, essa região apresenta desafios estruturais que impactam diretamente as condições de vida da população e o desempenho das atividades produtivas, tornando necessária a implementação de soluções de grande escala para a redistribuição hídrica (Castro, 2009).

Nesse contexto, o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), surge como uma estratégia voltada não apenas ao abastecimento humano, mas também à dinamização econômica e à ampliação das oportunidades de desenvolvimento nas áreas beneficiadas. A ampliação da disponibilidade hídrica tende a influenciar positivamente setores como agricultura, indústria e serviços, embora seus impactos ocorram de forma desigual no território (Brasil, 2004; Furtado, 2007).

No contexto do semiárido nordestino, a disponibilidade de água exerce influência direta sobre a organização do território, o desenvolvimento regional e as condições de deslocamento da população. Nesse cenário, intervenções de grande porte em infraestrutura hídrica modificam não apenas a oferta de recursos hídricos, mas também as dinâmicas de uso do território, exigindo adaptações em estruturas existentes e influenciando a mobilidade em áreas urbanas e rurais. Esses aspectos evidenciam a importância de compreender os efeitos das obras associadas ao PISF para além do abastecimento hídrico, considerando seus reflexos sobre a infraestrutura e o cotidiano das populações locais.

No estado do Rio Grande do Norte, a chegada das águas da transposição à Barragem de Pau dos Ferros demanda intervenções estruturais significativas, envolvendo conhecimentos técnicos da engenharia civil, especialmente nas áreas de hidráulica, geotecnia e infraestrutura de transportes. Essas intervenções alteram o comportamento hidrológico da região, modificando níveis de armazenamento, vazões e a dinâmica de operação das estruturas hidráulicas, o que exige reavaliações técnicas para garantir a segurança e a eficiência do sistema.

Além dos aspectos hidráulicos, grandes obras de infraestrutura reconfiguram a funcionalidade do território e a integridade dos sistemas de circulação (Brandão, 2007).

Alterações no regime hídrico, especialmente a transição de um leito intermitente para um fluxo contínuo (perenização), podem comprometer a mobilidade urbana e rural, provocando a interrupção de vias, processos erosivos em travessias e novas demandas por obras de arte correntes complementares (Costa, 2010; Chale, 2025).

Diante desse cenário, identifica-se que, embora o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) possua estudos de impacto em escala regional, há uma lacuna significativa de pesquisa técnica integrada no contexto de Pau dos Ferros/RN: a carência de análises que relacionam a segurança das estruturas hidráulicas com a infraestrutura de transporte local sob o novo regime hídrico perene. O escopo técnico deste trabalho delimita-se à caracterização das intervenções de engenharia realizadas na Barragem de Pau dos Ferros/RN para a recepção das águas do PISF e à investigação dos seus efeitos diretos nas mobilidades urbana e rural. A pesquisa foca na análise de pontos críticos de alagamento e na interrupção de vias estratégicas, relacionando a nova dinâmica de fluxo perene com as demandas de adequação da infraestrutura viária local.

No âmbito da engenharia civil, o foco concentra-se na descrição dos pontos de alagamentos, em aspectos das mobilidades urbana e rural, na infraestrutura de transportes e na integridade funcional das obras de arte correntes. O estudo dedica-se a avaliar, de forma prévia e qualitativa, o estado de conservação das estruturas de travessia por meio de análise visual, com ênfase nas passagens molhadas, verificando sua funcionalidade frente a um novo regime hídrico a partir da perenização do Rio Apodi-Mossoró. Adicionalmente, busca-se investigar a demanda por obras complementares, como o redimensionamento de bueiros e galerias ou a elevação do greide de vias, visando garantir a segurança estrutural e a continuidade dos fluxos de deslocamento no município. Assim, esta pesquisa propõe-se a preencher essa lacuna técnica local, fornecendo subsídios para o planejamento de soluções de engenharia voltadas à adaptação da infraestrutura viária às novas condições hidrológicas, de modo a contribuir para a segurança hídrica e para a continuidade dos deslocamentos na área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar, sob a perspectiva da engenharia civil, os efeitos técnicos das intervenções do PISF na barragem de Pau dos Ferros/RN e as demandas de adequação na infraestrutura de transportes urbana e rural.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar tecnicamente as obras de adequação da barragem de Pau dos Ferros/RN para receber as águas da transposição;
- Identificar os impactos das intervenções na mobilidade urbana e rural, considerando a ocorrência de alagamentos e interrupções de vias;
- Avaliar de forma prévia e qualitativa, o estado de conservação e a integridade das estruturas de travessia (obras de arte correntes) frente ao regime hídrico perene;
- Investigar a demanda por obras complementares de engenharia, como passagens molhadas, e sistemas de drenagem ou adequação das estruturas existentes.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Projeto de Integração do Rio São Francisco: contexto, estrutura e implicações territoriais

A implementação do Projeto de Integração do Rio São Francisco configura-se como a maior obra de infraestrutura hídrica do Brasil, inserida no contexto da Política Nacional de Recursos Hídricos, com o objetivo de promover a segurança hídrica em regiões historicamente afetadas pela escassez de água. Com aproximadamente 477 quilômetros de extensão distribuídos nos eixos Norte e Leste, o empreendimento contempla um conjunto expressivo de estruturas hidráulicas, incluindo aquedutos (Figura 1), estações de bombeamento, reservatórios e túneis, destinados à transposição de águas para áreas do semiárido nordestino (Brasil, 2020). A abrangência do projeto atinge cerca de 12 milhões de pessoas em 390 municípios nos estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, evidenciando sua relevância estratégica para o desenvolvimento regional e a mitigação dos efeitos da estiagem (Brasil, 2020).

Figura 1 - Aqueduto sobre riacho localizado em Cachoeira dos Índios/PB



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) representa a maior iniciativa de transferência de água em larga escala no Brasil, concebida para garantir a segurança hídrica de aproximadamente 12 milhões de pessoas em 390 municípios (Castro, 2009; Brasil, 2020). Mais do que uma obra de engenharia, o projeto é um instrumento de política pública que busca reconfigurar o acesso à água no semiárido, impactando diretamente atividades econômicas como a agricultura irrigada, a indústria e os serviços (Castro, 2009; Sousa; Ribeiro, 2014).

A Figura 2 apresenta a localização geral dos canais (Eixo Norte e Leste) e as bacias beneficiadas.

Figura 2 - Localização dos canais e bacias do PISF



Fonte: Brasil (2004).

Tecnicamente, o PISF subdivide-se em dois grandes sistemas:

- Eixo Norte: Com extensão aproximada de 402 km, realiza a captação próximo ao município de Cabrobó (PE) e conduz água para os rios Salgado e Jaguaribe (CE), Apodi (RN) e Piranhas-Açu (PB e RN) (Castro, 2009; Sousa *et al.*, 2016). Este eixo é projetado para uma capacidade máxima de 99 m³/s, operando com uma vazão

contínua de 16,4 m³/s destinada prioritariamente ao consumo humano (Castro, 2009; Brasil, 2004).

- Eixo Leste: Com cerca de 220 km, capta água no reservatório de Itaparica (PE), beneficiando as bacias dos rios Paraíba (PB), Pajeú, Moxotó e Ipojuca (PE) (Castro, 2009). Possui capacidade máxima de 28 m³/s e vazão contínua de 10 m³/s (Castro, 2009; Sousa *et al.*, 2016).

A Figura 3 detalha o traçado do Eixo Norte e os rios receptores.

Figura 3: Traçado do Eixo Norte e rios receptores



Fonte: Adaptado de Costa, (2010)

A integração hídrica possibilitará a retirada contínua de 26,4 m³/s do Rio São Francisco (equivalente a 1,4% da vazão de Sobradinho), montante que pode ser ampliado para até 127 m³/s em períodos de vertimento (Castro, 2009; Sousa *et al.*, 2016). Para transpor os desafios topográficos da região, que apresentam desníveis de até 304 metros no Eixo Leste e 165 metros no Eixo Norte, a engenharia do projeto utiliza um conjunto complexo de estações de bombeamento (EBOs), aquedutos suspensos, túneis como o de Major Sales no RN, canais

de concreto (Figura 4) e dissipadores de energia em degraus (Figura 5) (Costa, 2010; Sousa *et al.*, 2016).

Figura 4 - Construção dos canais do eixo norte, trecho na cidade de Uiraúna/PB



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Figura 5 - Dissipador de energia em degraus na barragem do Tambor em Cachoeira dos Índios/PB

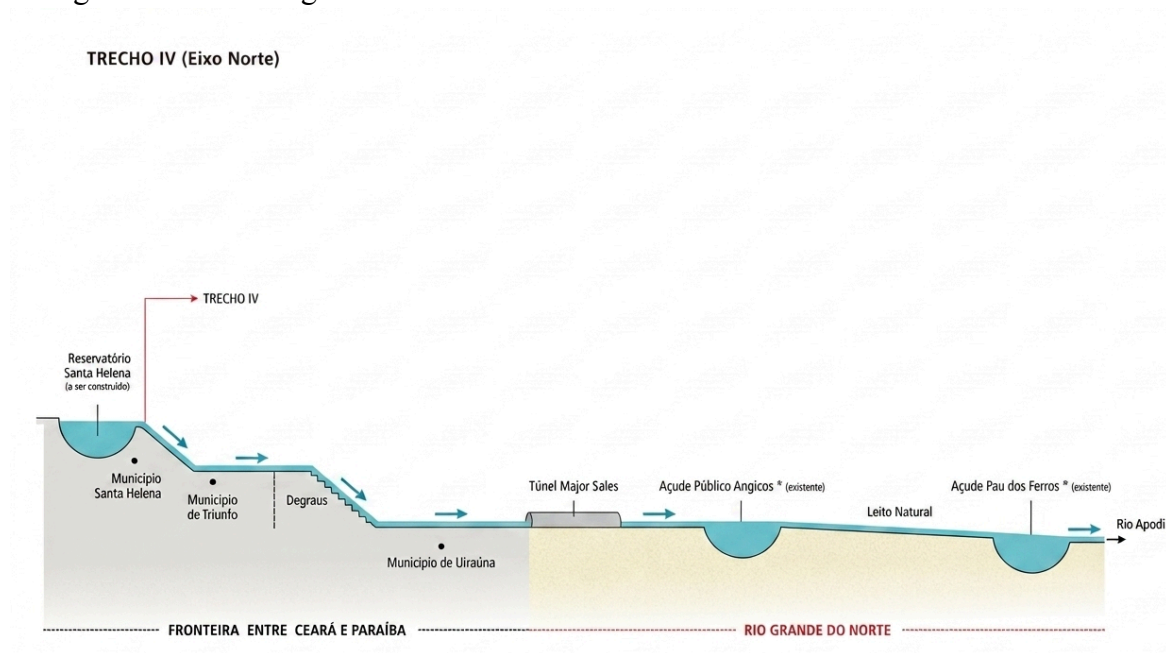


Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Em outras localidades, a chegada das águas exigiu adequações em grandes reservatórios estratégicos para a regularização de vazões e a perenização de rios anteriormente intermitentes (Costa, 2010). No Ceará, o projeto integra-se ao Açude Castanhão para perenizar o Rio Jaguaribe; na Paraíba, beneficia o Açude Boqueirão (Epitácio Pessoa) (Costa, 2010; Guimarães Júnior, s.d.). No Rio Grande do Norte, o projeto contempla o Trecho IV, onde a água flui por gravidade de Santa Helena (PB) até atingir os açudes Angicos, Pau dos Ferros e, posteriormente, a Barragem de Santa Cruz e a Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (Brasil, 2004; Costa, 2010).

A Figura 6 apresenta um perfil longitudinal do Trecho IV, mostrando especificamente a chegada da água na Barragem de Pau dos Ferros.

Figura 6 - Perfil longitudinal do Trecho IV



Fonte: Brasil (2004).

O semiárido nordestino é historicamente caracterizado pela irregularidade das chuvas, elevada evapotranspiração e limitada disponibilidade hídrica, fatores que condicionam o desenvolvimento econômico e social da região. Conforme Furtado (2007), tais condições contribuíram para a consolidação de desigualdades regionais no Nordeste. Nesse contexto, a implantação de obras hidráulicas, como barragens, açudes e sistemas de adução, torna-se fundamental para o armazenamento e a distribuição de água, favorecendo a segurança hídrica e o suporte às atividades produtivas (Castro, 2009).

Essas estruturas desempenham papel essencial na regulação de vazões e no controle do regime hídrico, possibilitando a mitigação dos efeitos das secas e a ampliação da disponibilidade de água ao longo do ano. No entanto, sua implantação também implica alterações significativas no comportamento hidrológico natural, podendo gerar impactos ambientais, territoriais e sociais que precisam ser analisados de forma integrada.

Além disso, a operação dessas obras exige constante monitoramento e adequação técnica, sobretudo em cenários de mudanças no regime de entrada de água, como ocorre com a inserção de sistemas de transposição. Dessa forma, torna-se necessário compreender não apenas os aspectos técnicos das estruturas hidráulicas, mas também suas interações com o território e com as dinâmicas locais.

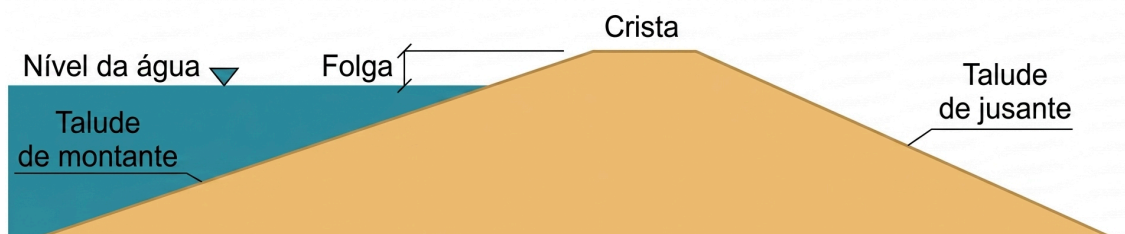
A análise dessas intervenções deve considerar que a chegada da água impõe desafios estruturais que não se distribuem de forma homogênea no território (Sousa; Ribeiro, 2014). A

transição para um regime de fluxo perene demanda investimentos adicionais em infraestrutura complementar e adaptações nos sistemas hidráulicos existentes para suportar novas cargas hídricas e garantir a funcionalidade da malha viária urbana e rural adjacente aos corpos d'água receptores (Costa, 2010; Medeiros *et al.*, 2021).

3.2 Barragem de Pau dos Ferros/RN

A Barragem Dr. Pedro Diógenes Fernandes, popularmente conhecida como Barragem de Pau dos Ferros, constitui uma das principais infraestruturas hídricas do Alto Oeste Potiguar. Classificada como barragem de aterro, sua estrutura é formada predominantemente por materiais naturais compactados (Figura 7), como solos, cascalhos e fragmentos rochosos, dispostos de modo a garantir a estabilidade do maciço frente às solicitações hidráulicas exercidas pelo reservatório. O empreendimento foi construído sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com execução iniciada em 1965, passando por diferentes etapas até sua conclusão definitiva em 1982 (Freitas *et al.*, 2021).

Figura 7 - Esquema de corte transversal de uma Barragem de Aterro



Fonte: Autoria própria, (2026).

Segundo dados de monitoramento do Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN), o reservatório possui capacidade máxima de armazenamento de 54.846.000 m³. Em maio de 2026, o volume acumulado correspondia a 33,18% da capacidade total, situando o manancial na faixa intermediária de armazenamento observada entre os reservatórios monitorados pelo órgão (IGARN, 2026) (Figura 8).

As inspeções de segurança realizadas pelo órgão gestor não identificaram anomalias estruturais significativas capazes de comprometer a integridade do barramento. Entretanto, foram recomendadas intervenções de caráter preventivo, incluindo a remoção de vegetação nos taludes e o controle de animais escavadores, medidas destinadas à preservação da estabilidade geotécnica e à mitigação de processos erosivos (IGARN, 2024).

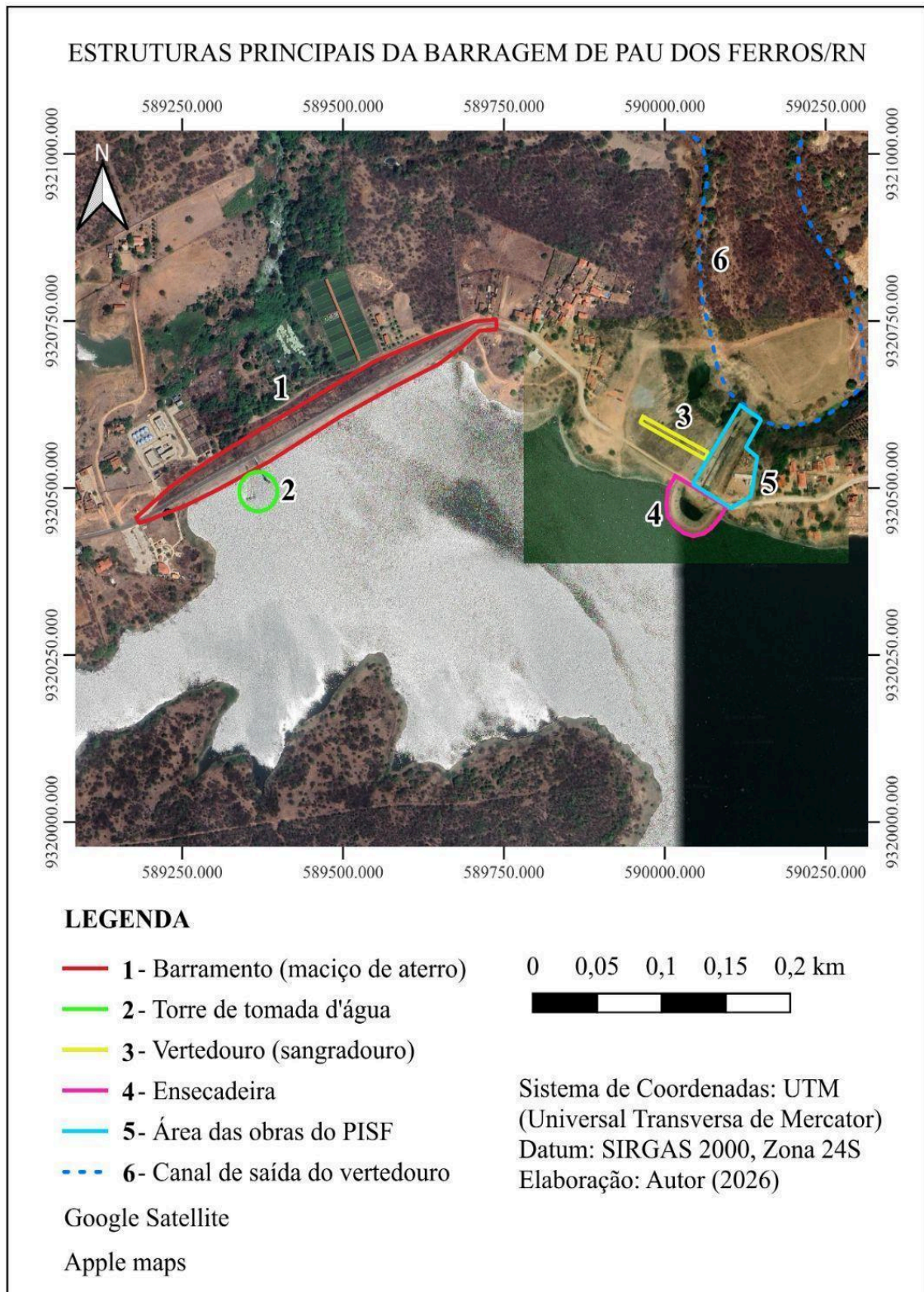
Figura 8 - Barragem de Pau dos Ferros/RN maio de 2026



Fonte: Adaptado de TV Chico Cobra D'Água (2026).

As informações técnicas mais recentes disponibilizadas pelo Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte (IGARN) indicam que o barramento apresenta altura máxima de 17,55 m, extensão de crista de 579,08 m e largura de coroamento de 7,90 m (IGARN, 2025). O controle das vazões excedentes é realizado por meio de um vertedouro de soleira livre implantado em canal escavado, cuja largura de extravasamento atinge 229,85 m (Figura 9). De acordo com a classificação de segurança adotada pelo IGARN (2024), a barragem enquadra-se na Classe A, possuindo Categoria de Risco (CRI) média e Dano Potencial Associado (DPA) alto. Essa condição decorre principalmente da presença de áreas urbanizadas, equipamentos públicos e demais infraestruturas localizadas a jusante, dentro da zona de autossalvamento, aumentando a relevância das ações de monitoramento e manutenção preventiva da estrutura.

Figura 9 - Estruturas hidráulicas e principais componentes da Barragem de Pau dos Ferros-RN



Fonte: Autoria própria, (2026).

No contexto das intervenções atualmente executadas no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), destaca-se a implantação de uma ensecadeira

provisória na área destinada à instalação do sistema de comportas do vertedouro. Tecnicamente, uma ensecadeira consiste em um recinto estanque construído no interior de um corpo hídrico com a finalidade de isolar determinada área de trabalho e possibilitar seu esgotamento por bombeamento, criando condições adequadas para a execução de obras civis em ambiente seco e seguro (ESC GROUP, 2023). Na obra em estudo, utiliza-se uma ensecadeira do tipo terra, caracterizada pela formação de um aterro provisório, geralmente constituído por solo compactado e, em alguns casos, por núcleo argiloso, sendo indicada para locais com baixa profundidade e reduzidas velocidades de escoamento (ESC GROUP, 2023).

Estruturas dessa natureza são amplamente empregadas em obras hidráulicas, tanto na construção inicial de barragens quanto em intervenções posteriores de manutenção, recuperação estrutural ou ampliação de dispositivos hidráulicos. No caso da implantação das comportas, a ensecadeira desempenha papel fundamental ao permitir a drenagem e a proteção da área de escavação, possibilitando a execução das fundações, concretagens e demais serviços necessários sem interferência direta do fluxo de água.

Entre os principais componentes hidráulicos da barragem destaca-se o vertedouro do tipo Creager, conforme é possível visualizar na Figura 10, conhecido regionalmente como sangradouro (Sales; Albuquerque, 2022). Esse dispositivo tem a função de permitir o extravasamento controlado dos volumes excedentes armazenados no reservatório, contribuindo para a segurança operacional da barragem durante eventos de cheias. Conforme destacam Sales e Albuquerque (2022), estruturas dessa natureza são amplamente empregadas em reservatórios do semiárido brasileiro devido à sua eficiência na dissipação e condução das vazões excedentes. Registros históricos demonstram a importância desse sistema para o controle hidráulico da barragem, destacando-se o evento ocorrido em 2004, quando a lâmina de vertimento atingiu aproximadamente 1,30 m acima da soleira, ocasionando inundações significativas em áreas urbanas localizadas a jusante (Costa, 2010).

Figura 10 - Vertedouro da Barragem de Pau dos Ferros-RN durante evento de sangria em 2023



Fonte: G1 RN (2023).

No contexto da transposição do Rio São Francisco, o reservatório assume papel relevante como ponto de recepção das águas do Eixo Norte. A integração entre bacias, prevista no projeto, tem como objetivo ampliar a segurança hídrica e garantir maior regularidade no fornecimento de água para regiões historicamente afetadas pela escassez (BRASIL, 2020). Nesse cenário, a inserção da barragem no sistema de transposição tende a modificar o regime hídrico local, anteriormente caracterizado por intermitência, para uma condição de maior regularização de vazões, exigindo novas abordagens técnicas de operação e gestão.

Apesar de sua importância, o reservatório apresenta fragilidades associadas à ausência de manutenção sistemática e à ocupação desordenada de seu entorno (Medeiros *et al.*, 2021). Episódios recentes de colapso hídrico, como o esvaziamento em 2015 e níveis críticos nos anos seguintes, evidenciam sua vulnerabilidade (Medeiros *et al.*, 2021). Além disso, processos como assoreamento e ocupação irregular intensificam riscos associados a eventos de cheia, podendo gerar impactos diretos na mobilidade urbana e rural, especialmente pela interrupção de vias e isolamento de áreas da cidade (Medeiros *et al.*, 2021).

3.3 Passagens Molhadas: Conceitos, Tipologias e Critérios de Projeto

As passagens molhadas são estruturas destinadas à transposição de cursos d'água perenes ou intermitentes, permitindo a circulação de veículos e pedestres entre margens opostas (Figura 11). Do ponto de vista da engenharia rodoviária, essas estruturas podem ser classificadas como Obras de Arte Correntes (OAC) ou, em determinadas situações, como Obras de Arte Especiais (OAE), sendo projetadas para operar mesmo sob condições de

galgamento da plataforma (Chale, 2025; Soares Júnior et al., 2021).

Figura 11 - Simulação da implantação de uma passagem molhada em travessia rural localizada no município de Pau dos Ferros



Fonte: Elaborado pelo autor (2026), a partir de fotografia própria editada com auxílio de inteligência artificial (Google Gemini).

Diferentemente das pontes convencionais, concebidas para manter o greide da via acima do nível das cheias de projeto, as passagens molhadas admitem o escoamento de uma lâmina d'água sobre a superfície de rolamento durante períodos de vazões elevadas ou eventos pluviométricos intensos (Chale, 2025; Soares Júnior *et al.*, 2021). Essa característica reduz significativamente os custos de implantação quando comparadas às pontes, justificando sua ampla utilização em regiões semiáridas, onde predominam cursos d'água intermitentes e períodos prolongados de estiagem.

No que se refere aos aspectos geométricos, essas estruturas são geralmente projetadas para faixa simples de tráfego, permitindo a passagem de apenas um veículo por vez (Soares Júnior et al., 2021). A largura da plataforma e o comprimento da travessia variam em função das características topográficas do local de implantação e da largura do corpo hídrico a ser transposto (Soares Júnior *et al.*, 2021). A superestrutura normalmente é constituída por uma plataforma em concreto simples ou armado apoiada sobre um colchão de areia, com paredes

laterais executadas em concreto ciclópico, capazes de resistir às solicitações provenientes das cargas móveis e das ações hidráulicas atuantes durante os períodos de escoamento (Brasil, 2020; Soares Júnior *et al.*, 2021).

A estabilidade da estrutura depende diretamente das condições de fundação. Para tanto, são executadas escavações mecânicas ou manuais que podem atingir profundidades de até 3,00 m, garantindo resistência ao empuxo hidrostático, à erosão de base e à ocorrência de recalques diferenciais (Soares Júnior *et al.*, 2021). O preenchimento dessas fundações é geralmente realizado com concreto ciclópico, composto por aproximadamente 30% de pedras de mão incorporadas à matriz de concreto, proporcionando elevada robustez estrutural com custos relativamente reduzidos (Soares Júnior *et al.*, 2021).

Além da estabilidade estrutural, o desempenho operacional das passagens molhadas está diretamente relacionado à sua capacidade hidráulica. A condução das vazões é normalmente realizada por meio de tubos de concreto armado com diâmetros padronizados de 800 mm ou 1.000 mm, ou ainda por galerias celulares de concreto armado dimensionadas em função da vazão de projeto da bacia hidrográfica (Soares Júnior *et al.*, 2021). Esses dispositivos permitem a passagem da água sob condições normais de escoamento, reduzindo a frequência de galgamento da plataforma e contribuindo para a manutenção da trafegabilidade.

A segurança operacional dessas estruturas requer a instalação de dispositivos de sinalização e proteção, especialmente balizadores laterais (Figura 12), que permitem a identificação visual dos limites da travessia durante períodos de submersão parcial ou total da plataforma (Soares Júnior *et al.*, 2021). Tais elementos tornam-se particularmente importantes em eventos de cheia, quando a visibilidade da estrutura é reduzida e aumentam os riscos de acidentes.

Figura 12 - Dispositivos de sinalização lateral em passagem molhada



Fonte: Prefeitura de Gravatá (2024).

Outro aspecto fundamental para a durabilidade das passagens molhadas refere-se ao controle dos processos erosivos. As elevadas velocidades do escoamento na saída das tubulações ou galerias podem provocar erosão localizada, solapamento das fundações e degradação progressiva da estrutura. Para mitigar esses efeitos, recomenda-se a implantação de dispositivos dissipadores de energia, como tapetes de enrocamento (rip-rap) ou bacias de dissipação, capazes de reduzir a velocidade do fluxo e aumentar a estabilidade hidráulica da área de jusante (Thompson; Kilgore, 2006; Soares, 2025).

A manutenção periódica e o monitoramento do estado estrutural são essenciais para garantir a funcionalidade e a segurança dessas obras. Problemas como assoreamento, obstrução dos dispositivos hidráulicos, erosão das margens e degradação dos elementos estruturais podem comprometer significativamente seu desempenho operacional (Costa, 2010; Soares, 2025).

Essa necessidade de monitoramento torna-se ainda mais relevante em áreas onde ocorreram alterações significativas no regime hidrológico dos cursos d'água. Em regiões influenciadas pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco, por exemplo, cursos anteriormente caracterizados pela intermitência passaram a apresentar escoamentos mais frequentes ou mesmo permanentes. Nessas condições, passagens molhadas originalmente dimensionadas para suportar eventos sazonais de curta duração podem passar a operar sob

condições hidráulicas mais severas, favorecendo a ocorrência de galgamentos frequentes, processos erosivos, assoreamento e limitações à mobilidade da população. Dessa forma, torna-se necessária a reavaliação da capacidade operacional dessas estruturas e, em determinados casos, a implantação de obras complementares, como elevação de greide, ampliação da capacidade hidráulica ou substituição por pontes convencionais.

3.4 Mobilidade urbana e rural em áreas influenciadas por variações hidrológicas

A mobilidade urbana e rural constitui um elemento fundamental para o desenvolvimento socioeconômico dos territórios, estando diretamente relacionada às condições físicas do ambiente e à disponibilidade de infraestrutura de transporte adequada. Em regiões semiáridas, onde a dinâmica hídrica é marcada por períodos alternados de estiagem e precipitações concentradas, as condições de deslocamento podem sofrer alterações significativas em decorrência das variações no regime dos corpos hídricos e da operação de infraestruturas de armazenamento e distribuição de água.

A implantação de barragens, sistemas de transposição e demais obras hidráulicas promove transformações na organização territorial ao modificar os padrões de circulação da água e as condições de acesso entre diferentes localidades (Castro, 2009; Medeiros *et al.*, 2021). Embora essas intervenções contribuam para ampliar a segurança hídrica e favorecer o desenvolvimento regional, também podem gerar impactos sobre a mobilidade, especialmente em áreas onde a infraestrutura viária é composta por passagens molhadas, estradas vicinais e travessias sujeitas à influência direta dos níveis d'água. Nessas situações, elevações da lâmina d'água, aumento das vazões ou eventos de extravasamento podem ocasionar interrupções temporárias de acessos.

No contexto potiguar, observa-se que os processos de urbanização acelerada e sem planejamento adequado agudizam a ocorrência de pontos críticos de alagamento (Araújo *et al.*, 2022). A impermeabilização do solo resultante da pavimentação e das edificações reduz drasticamente a capacidade de infiltração, transformando as vias públicas em canais de escoamento superficial de alta energia (Araújo *et al.*, 2022). Esse fenômeno é agravado pelo subdimensionamento ou mesmo a inexistência em áreas urbanas dos sistemas de micro e macrodrenagem, que não suportam o volume hídrico de eventos pluviométricos intensos, resultando na invasão das águas em residências e comércios e na severa limitação do direito de "ir e vir" da população (Araújo *et al.*, 2022).

A cidade de Pau dos Ferros-RN reflete essa problemática, apresentando um histórico

de alagamentos associados tanto à deficiência da drenagem urbana quanto ao extravasamento da Barragem Dr. Pedro Diógenes Fernandes (Costa, 2010) (Figura 13). A ocupação histórica de áreas ribeirinhas e de cotas altimétricas baixas, como o centro da cidade e o bairro São Geraldo, coloca a infraestrutura viária em rota direta de colisão com o regime fluvial do Rio Apodi e do Riacho Cajazeiras (Costa, 2010). Dados da EMPARN demonstram que picos de precipitação, como os registrados em março de 2024 (235 mm) e maio de 2026 (192,6 mm) (Tabela 01), sobrecarregam a calha fluvial e o sistema de drenagem local, replicando cenários de inundações como a de 2004, quando a sangria da barragem atingiu uma lâmina de 1,30 m e isolou importantes núcleos comerciais (EMPARN, 2026; Costa, 2010).

Figura 13 - Alagamento e inundação no centro de Pau dos Ferros/RN após chuvas intensas ocorridas em 26 de janeiro de 2019



Fonte: Grande Ponto (2019).

Tabela 1 – Precipitação anual por estação de coleta em mm em Pau dos Ferros/RN (Posto Particular) entre 2024 e 2026

Ano	Mês												Total
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2024	86	192	235	147	60	59	5,5	0	0	0	0	13	797,5
2025	98	131,5	180,7	120	107	122	13	6	0	0	0	9	787,2
2026*	0	187,3	137,2	155,7	192,6*	-	-	-	-	-	-	-	672,8*

Fonte: Emparn (2026).

A transição do Rio Apodi-Mossoró para um regime de fluxo perene, impulsionada pelo PISF, tende a agravar a vulnerabilidade da malha viária urbana e rural (Costa, 2010; Medeiros *et al.*, 2021). Vias que anteriormente eram afetadas apenas em quadras invernosas agora enfrentam o risco de obstruções recorrentes e a aceleração de processos erosivos em obras de arte correntes, como as passagens molhadas, que não foram originalmente projetadas para suportar cargas hidráulicas permanentes (Soares, 2025; Chale, 2025; Costa, 2010). Diante dessa nova realidade hidrológica, a manutenção da mobilidade urbana e o acesso a comunidades rurais dependem de intervenções estruturantes, como a elevação do greide das vias e o redimensionamento de galerias, visando mitigar os transtornos sociais e os prejuízos econômicos à dinâmica local (Soares, 2025; Costa, 2010).

3.5 Vulnerabilidades locais e infraestrutura de travessia em Pau dos Ferros/RN

A mobilidade urbana e rural constitui um elemento essencial para a integração territorial e para o acesso da população a serviços básicos, atividades econômicas e equipamentos públicos. Em municípios inseridos em áreas sujeitas a variações hidrológicas, a funcionalidade da infraestrutura viária está diretamente condicionada ao comportamento dos cursos d'água e à ocorrência de eventos extremos, tornando as estruturas de travessia componentes estratégicos para a manutenção da conectividade territorial.

No município de Pau dos Ferros-RN, essa relação é particularmente evidente em razão da presença da Barragem Dr. Pedro Diógenes Fernandes e do Rio Apodi-Mossoró, elementos que exercem influência direta sobre a dinâmica hídrica local. Registros históricos demonstram que eventos de cheia e extravasamento do reservatório já ocasionaram transtornos à

circulação urbana e rural, destacando-se a inundação de 2004 (Costa, 2010), a sangria da barragem em maio de 2023 (Figura 14), e episódios recentes observados em 2026. Essas ocorrências evidenciam a vulnerabilidade de determinadas estruturas viárias instaladas em áreas sujeitas à elevação do nível d'água.

Figura 14 - Acesso ao bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN, 09 de abril de 2023



Fonte: Adaptado de Sigaraffa (2023).

Entre os pontos mais sensíveis destaca-se a passagem molhada de acesso ao bairro São Geraldo (Figuras 14 e 15), cuja operação depende diretamente das condições hidráulicas do rio. Embora atualmente a estrutura esteja sujeita a interrupções predominantemente durante eventos de chuva intensa ou períodos de extravasamento da barragem, a perspectiva de perenização do Rio Apodi-Mossoró, associada à integração das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), tende a modificar significativamente esse cenário. A manutenção de vazões mais constantes ao longo do ano poderá aumentar a frequência de submersão da travessia e ampliar os processos erosivos em sua estrutura, reduzindo sua funcionalidade e comprometendo a segurança dos usuários (Costa, 2010).

Figura 15 - Acesso ao bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN, 13 de maio de 2026



Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

Os reflexos dessa transformação hidrológica não se restringem ao acesso ao bairro São Geraldo, atingindo outras estruturas de travessia situadas ao longo da calha do Rio Apodi-Mossoró em seus perímetros urbano e periurbano. Tais infraestruturas estão suscetíveis a interferências diretas decorrentes da elevação da lâmina d'água e da modificação no regime de escoamento. Conforme afirmam Brasil (2020) e Castro (2009), intervenções hidráulicas desse porte promovem reconfigurações territoriais de grande magnitude, impondo a necessidade de adaptações na infraestrutura de mobilidade para assegurar a continuidade dos deslocamentos e a segurança da população local.

As alterações desencadeadas pelo PISF podem incidir diretamente sobre a infraestrutura municipal, afetando de forma expressiva a mobilidade urbana e rural. A regularização das vazões e o incremento dos níveis hídricos podem deflagrar alagamentos em zonas anteriormente imunes a tais fenômenos, comprometendo vias estratégicas e interrompendo os sistemas de circulação. Esse cenário demanda a implementação de soluções de engenharia, a exemplo de passagens molhadas e novos sistemas de drenagem, visando adequar a malha viária à nova realidade hídrica (Brasil, 2020; Castro, 2009).

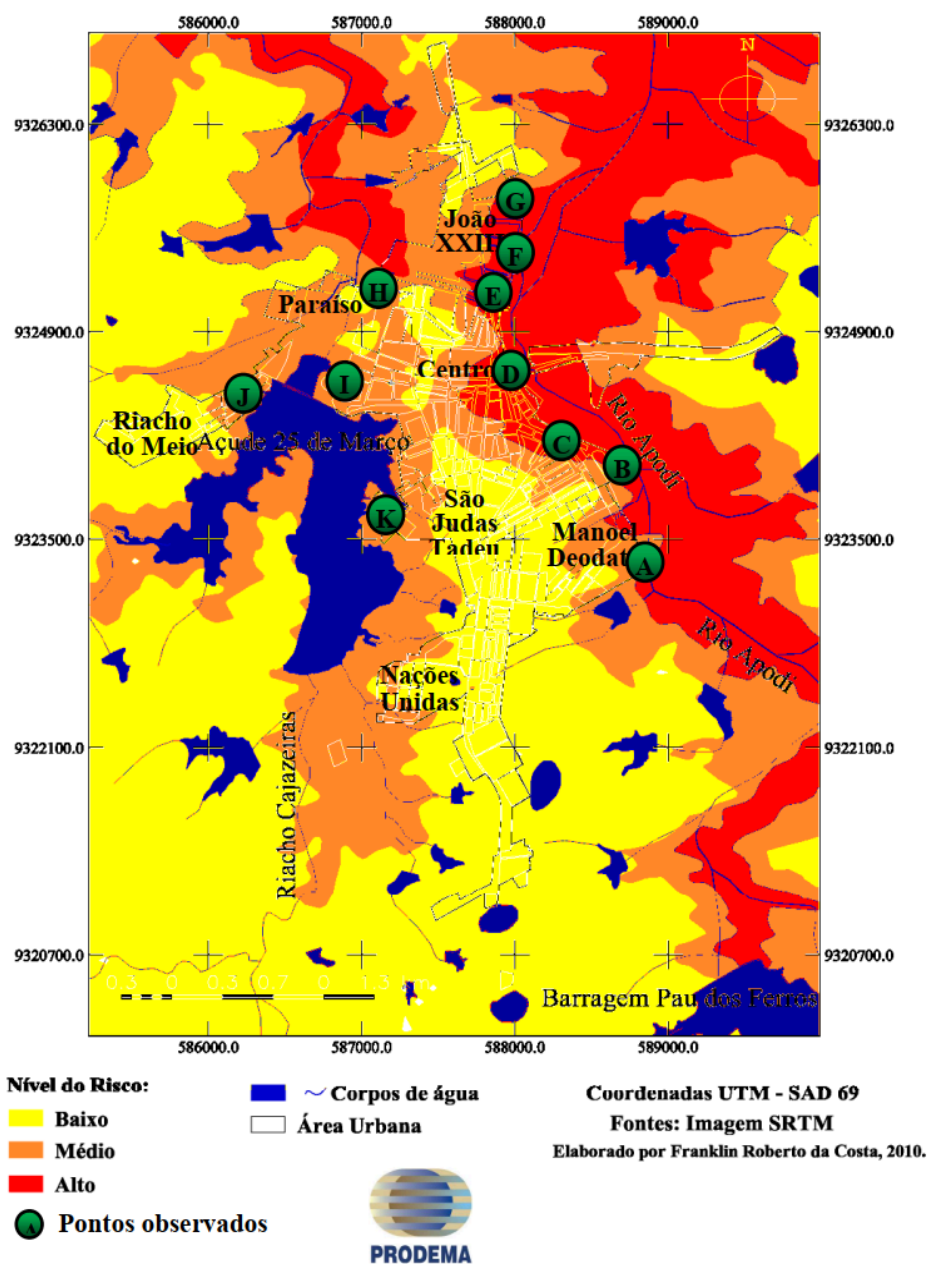
Portanto, a compreensão dos efeitos dessas intervenções sobre a dinâmica de transportes é crucial para o planejamento de estratégias que garantam a continuidade dos fluxos e a integridade dos usuários. Segundo Castro (2009), obras de infraestrutura hídrica são

agentes de reconfiguração do território e de seus sistemas de integração. Na mesma linha, Medeiros *et al.* (2021) reiteram que as mudanças na disponibilidade hídrica modulam as dinâmicas regionais, impactando diretamente as condições de acessibilidade e os padrões de deslocamento territorial.

A repercussão social da perenização do Rio Apodi-Mossoró evidencia-se na fragilidade da infraestrutura viária perante o regime hídrico perene (Costa, 2010). A transição do leito intermitente para um fluxo constante tende a obstruir recorrentemente acessos urbanos e rurais, acelerando a degradação de obras de arte correntes, como passagens molhadas, que carecem de dimensionamento para solicitações hidráulicas permanentes e processos erosivos contínuos (Soares, 2025; Chale, 2025). Tal interferência compromete a funcionalidade de trajetos essenciais, como o acesso ao complexo turístico Serrote do Jatobá em Pau dos Ferros/RN. Esse risco é potencializado pelas deficiências históricas de drenagem no centro de Pau dos Ferros, polo econômico regional com topografia de baixa cota e elevada suscetibilidade a inundações (Figura 16) (Tabela 02) (Costa, 2010). A convergência de picos pluviométricos e variações no reservatório pode reeditar eventos críticos como o de 2004 (Costa, 2010). Para mitigar esses impactos socioeconômicos e preservar a subsistência das populações ribeirinhas, mostram-se necessárias intervenções como a elevação do greide viário ou a ampliação de estruturas de galeria (Costa, 2010).

Figura 16 - Carta das áreas e pontos com risco de inundação na cidade de Pau dos Ferros/RN

Carta de Risco de Inundação da cidade de Pau dos Ferros - RN.



Fonte: Adaptado de Costa (2010).

Tabela 2 - Pontos com risco de inundação na cidade de Pau dos Ferros/RN

Ponto	Bairro	Rio influente	Graus de risco
A	Manoel Deodato	Apodi	Alto e Médio
B	Manoel Deodato	Apodi	Alto e Médio
C	Centro	Apodi	Alto e Médio
D	Centro	Apodi	Alto e Médio
E	João XXIII	Apodi	Alto e Médio
F	João XXIII	Apodi	Alto e Médio
G	João XXIII	Apodi	Médio
H	Paraíso	Cajazeiras	Médio e Baixo
I	Nove de Janeiro	Cajazeiras	Médio
J	Riacho do Meio	Cajazeiras	Médio
K	São Judas Tadeu	Cajazeiras	Médio

Fonte: Adaptado de Costa (2010).

O desenvolvimento regional no semiárido nordestino está fortemente condicionado à disponibilidade de recursos hídricos, sendo a água um elemento estruturante das atividades econômicas, da organização do território e das condições de mobilidade da população. Segundo Furtado (2007), as desigualdades regionais no Brasil estão associadas a fatores históricos e estruturais que incluem limitações naturais e a insuficiência de infraestrutura capaz de promover a integração territorial e o acesso equitativo às oportunidades de desenvolvimento.

Nesse contexto, a ampliação da oferta hídrica por meio de grandes obras, como o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), pode contribuir para a reconfiguração das dinâmicas produtivas, sociais e territoriais. Entretanto, esse processo não ocorre de forma automática ou homogênea, uma vez que seus benefícios dependem de fatores como a disponibilidade de infraestrutura, a capacidade de investimento local e a implementação de políticas públicas complementares. Além dos impactos sobre a produção agropecuária e o abastecimento humano, as alterações promovidas pelo novo regime hídrico podem influenciar diretamente a mobilidade urbana e rural, especialmente em áreas onde a circulação depende de estruturas de travessia vulneráveis às variações dos níveis d'água.

De acordo com Brandão (2007), o território deve ser compreendido como resultado de múltiplas interações entre agentes econômicos, sociais e institucionais, sendo influenciado por diferentes escalas de atuação. Sob essa perspectiva, intervenções em infraestrutura hídrica podem desencadear transformações no uso e ocupação do solo, na organização das atividades produtivas, na distribuição espacial da população e nas condições de acessibilidade entre

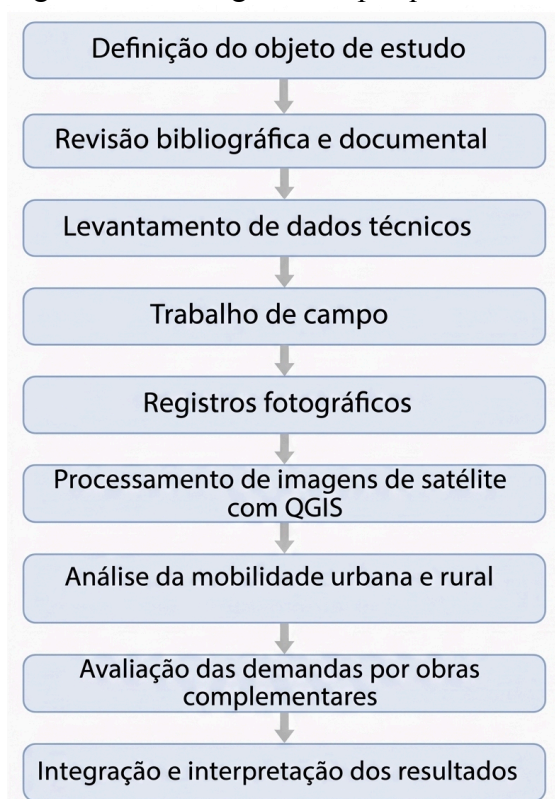
áreas urbanas e rurais. Tais mudanças tornam-se particularmente relevantes em municípios cuja rede viária mantém forte dependência de passagens molhadas, pontes e outras estruturas diretamente influenciadas pelo comportamento dos cursos d'água.

Dessa forma, a análise das intervenções na Barragem de Pau dos Ferros deve considerar não apenas seus aspectos técnicos e operacionais, mas também suas implicações territoriais, socioeconômicas e sobre a mobilidade da população. A compreensão integrada desses fatores permite avaliar de maneira mais abrangente os impactos associados à transposição e à perenização do Rio Apodi-Mossoró, contribuindo para o planejamento de estratégias de desenvolvimento regional que conciliem segurança hídrica, acessibilidade territorial e sustentabilidade.

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, metodologia que permite a análise aprofundada de fenômenos reais em contextos específicos, possibilitando a compreensão detalhada de suas causas, efeitos e inter-relações (Gil, 2002). O estudo foi desenvolvido na cidade de Pau dos Ferros/RN, considerando as intervenções associadas à transposição do Rio São Francisco e seus impactos técnicos e territoriais. A Figura 17 apresenta o fluxograma metodológico da pesquisa.

Figura 17 - Fluxograma da pesquisa



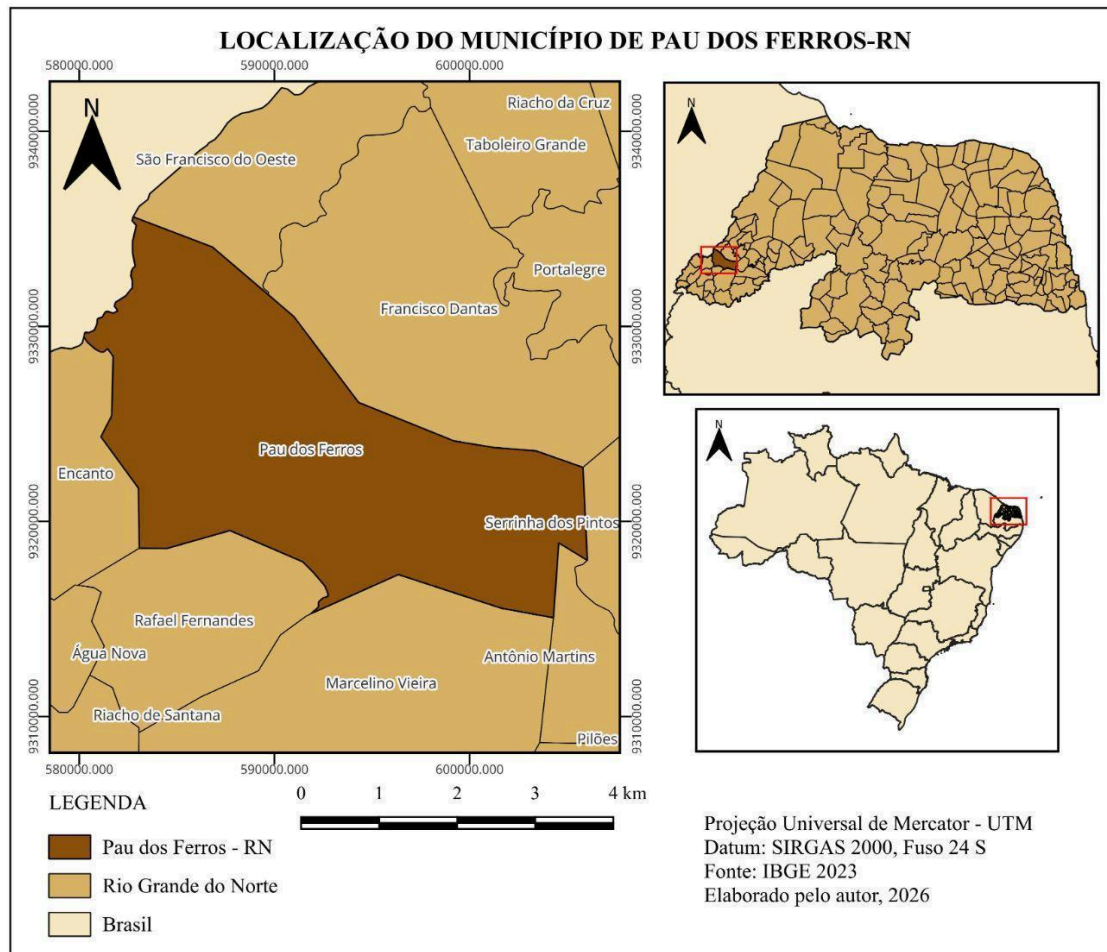
Fonte: Autoria própria (2026).

4.1 Definição do objeto de estudo

Inicialmente, foi realizada a definição do objeto de estudo, com foco nas obras de adequação da barragem de Pau dos Ferros para recepção das águas das obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) e nas travessias urbanas e rurais ao longo do rio Apodi-Mossoró. Como forma de materializar, em escala local, os conceitos discutidos nos tópicos anteriores, destaca-se a Barragem de Pau dos Ferros, principal reservatório hídrico da microrregião do Alto Oeste Potiguar. Localizada no município de Pau dos Ferros/RN (Figura

18), a estrutura integra a Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, desempenhando papel estratégico na regulação hídrica e no abastecimento regional (Medeiros *et al.*, 2021).

Figura 18 - Localização do município de Pau dos Ferros-RN.



Fonte: Autoria própria (2026).

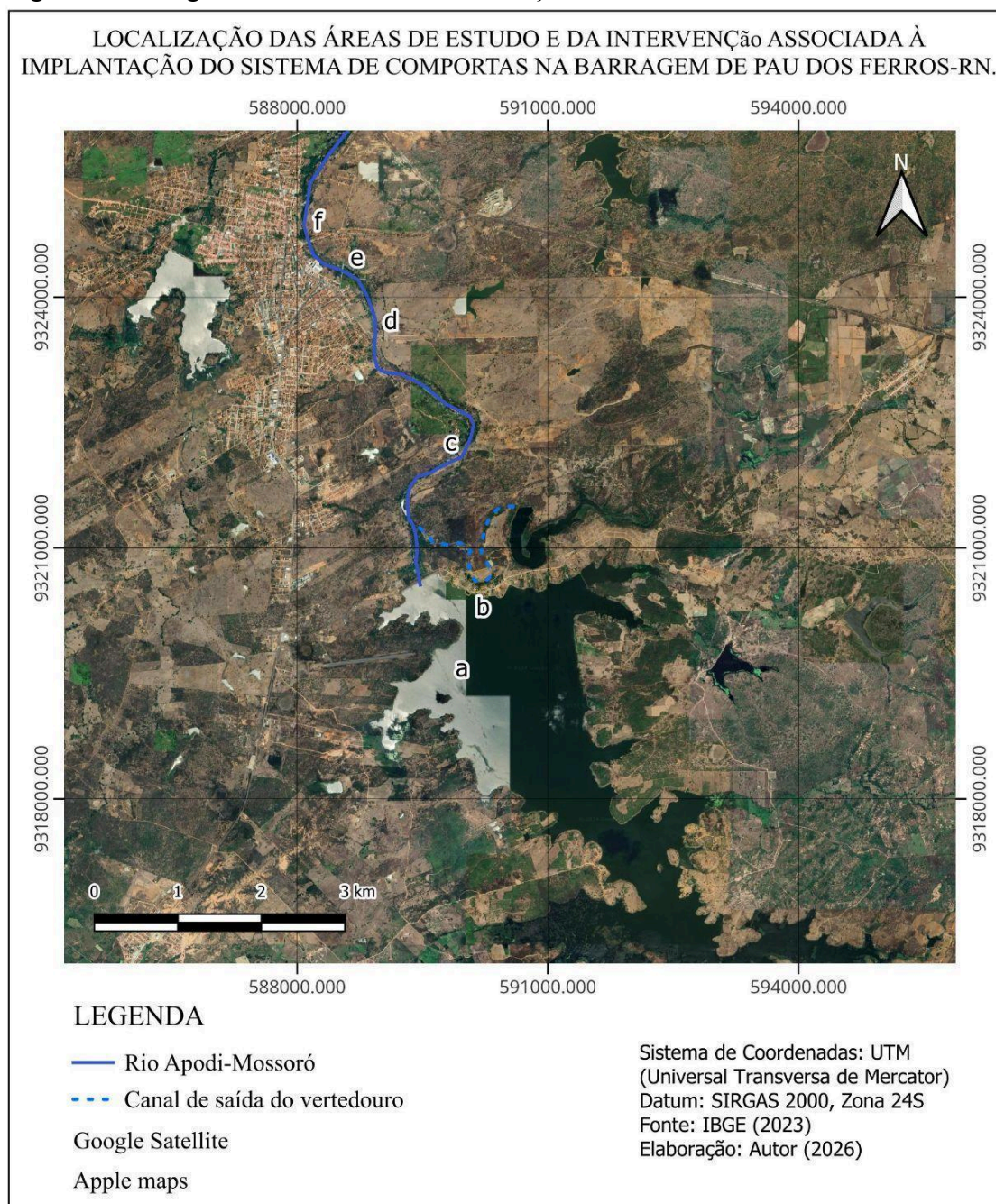
A Figura 19 apresenta a localização das principais áreas e estruturas consideradas neste estudo, distribuídas ao longo da Barragem de Pau dos Ferros e do trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró. Os pontos identificados por letras correspondem aos elementos analisados durante a pesquisa.

O ponto **(a)** representa a Barragem de Pau dos Ferros, enquanto o ponto **(b)** indica a área de intervenção destinada à implantação do sistema de comportas próximo ao vertedouro original do reservatório. A linha tracejada destaca o canal de saída do vertedouro, responsável pela condução das águas descarregadas para jusante e também pelas contribuições provenientes da barragem situada a montante.

O ponto **(c)** corresponde ao trecho do Rio Apodi-Mossoró situado a jusante da barragem. Já o ponto **(d)** identifica a passagem molhada que proporciona acesso ao Sítio

Taboleiro Grande e ao Complexo Turístico Serrote do Jatobá. O ponto (e) representa a ponte de acesso ao bairro São Geraldo, enquanto o ponto (f) corresponde à passagem molhada que também atende ao referido bairro.

Figura 19 - Imagem de satélite com identificação das áreas de análise.



Fonte: Autoria própria (2026).

A identificação dessas estruturas permitiu delimitar espacialmente as áreas de interesse da pesquisa, servindo de base para as análises desenvolvidas nas etapas subsequentes do estudo.

4.2 Revisão e levantamento de dados

Na sequência, foi conduzida uma revisão bibliográfica e documental. O processo de levantamento de dados para esta pesquisa fundamentou-se em critérios de pertinência geográfica, priorizando estudos focados no município de Pau dos Ferros/RN, na Bacia do Rio Apodi, e de credibilidade institucional, com o uso de dados técnicos e normativos de órgãos como o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). A seleção de trabalhos também obedeceu ao critério de especialidade técnica, buscando referências consolidadas na engenharia civil para caracterização de obras de arte correntes e sistemas de drenagem.

As buscas foram refinadas por meio de palavras-chave como "Transposição do Rio São Francisco", "passagens molhadas", "mobilidade" e "inundações urbanas", abrangendo um recorte temporal que integrou séries históricas (1987-2010) essenciais para entender a expansão urbana e o histórico de cheias, e registros recentes (2015-2026) para validar a vulnerabilidade da infraestrutura sob o novo regime hídrico perene. Essa abordagem permitiu uma triangulação de dados, conectando a revisão bibliográfica e o levantamento de parâmetros hidráulicos com evidências coletadas em trabalho de campo e registros jornalísticos contemporâneos.

Posteriormente, foi realizado o levantamento de dados técnicos, incluindo informações sobre as intervenções estruturais na barragem e dados hidrológicos (níveis d'água, vazões e operação das comportas). Esses dados foram essenciais para a caracterização técnica das obras e a compreensão das condições físicas do sistema.

Em seguida, foi desenvolvido o trabalho de campo, por meio de visitas técnicas à barragem e ao seu entorno, com o objetivo de observar as estruturas hidráulicas, identificar áreas impactadas e verificar interferências na mobilidade urbana e rural. Durante essa etapa, foi realizado registro fotográfico sistemático.

A elaboração dos produtos cartográficos desta pesquisa foi realizada por meio do software QGIS, utilizado para o processamento, organização e representação espacial das informações analisadas. Foram produzidos mapas de localização, caracterização da área de estudo e identificação das estruturas associadas à implantação do sistema de comportas na Barragem de Pau dos Ferros. Como base cartográfica, foram utilizados dados vetoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e imagens de satélite provenientes do

Google Satellite.

Adicionalmente, visando obter uma representação mais atualizada da área de estudo, foram empregadas imagens disponibilizadas pelo Apple Maps. Para sua utilização, realizou-se o georreferenciamento da imagem por meio da identificação de pontos de controle e referências espaciais coincidentes com a base cartográfica adotada, permitindo seu adequado enquadramento no sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, Zona 24S. Esse procedimento possibilitou a integração de diferentes fontes de dados geoespaciais, contribuindo para uma representação mais precisa das áreas analisadas, permitindo identificar áreas sujeitas a alagamentos, vias afetadas e pontos críticos de circulação.

A partir dos dados coletados, foi realizada a análise da mobilidade urbana e rural, considerando a ocorrência de interrupções de vias, áreas alagáveis e dificuldades de acesso, bem como a necessidade de adequações na infraestrutura viária.

Esta análise técnica fundamentou-se na identificação de pontos críticos de alagamento que comprometem a integridade funcional do sistema de transportes local. A investigação detalhou como a transição para um fluxo hídrico perene, resultante da integração com o PISF, altera as cotas de inundação e exige o redimensionamento de obras de arte correntes, como bueiros e passagens molhadas, para garantir a continuidade dos fluxos de deslocamento e a segurança dos usuários em ambos os contextos, urbano e rural.

Na sequência, foi conduzida a avaliação da demanda por obras complementares de engenharia, como passagens molhadas e sistemas de drenagem, ou adequação das estruturas existentes, com base nas condições observadas em campo e nas análises realizadas. Além disso, busca-se avaliar o estado de conservação e a integridade das estruturas de travessia.

Por fim, foi feita a integração e interpretação dos resultados, relacionando os aspectos técnicos das obras hidráulicas com seus efeitos sobre a infraestrutura local, permitindo uma análise abrangente dos impactos decorrentes das intervenções.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, procedeu-se a exposição e o exame crítico das evidências coletadas mediante a execução do rigor metodológico proposto, englobando a compilação de parâmetros técnicos e as constatações aferidas durante a incursão in loco, em conformidade com as diretrizes estabelecidas no Capítulo 4 deste trabalho. O debate encontra-se organizado em cinco eixos fundamentais, estruturados de modo a responder aos objetivos específicos delineados para este estudo acadêmico.

5.1 Caracterização técnica das intervenções e análise hidráulica da Barragem de Pau dos Ferros.

As intervenções estruturais na barragem de Pau dos Ferros contemplam a instalação de um sistema de comportas, concebido tecnicamente para viabilizar a regulação de vazões no reservatório. Tal dispositivo de engenharia configura-se como peça essencial para o controle do aporte hídrico oriundo do Eixo Norte do PISF, assegurando que o fluxo de integração percorra a calha do Rio Apodi-Mossoró até atingir a barragem de Santa Cruz, no município de Apodi/RN. Segundo a empresa responsável pela construção da estrutura, um engenheiro elétrico fará a automação do sistema de comportas fazendo com que a operação de regulação seja totalmente automatizada.

As comportas estão sendo construídas adjacentes ao vertedouro da barragem, mantendo o curso do canal original de saída até a confluência com a calha do Rio Apodi-Mossoró. Na imagem de satélite de maior aproximação (Figura 20), identificam-se o vertedouro original e o local exato de instalação das comportas, cuja área de intervenção foi isolada por uma estrutura de ensecadeira.

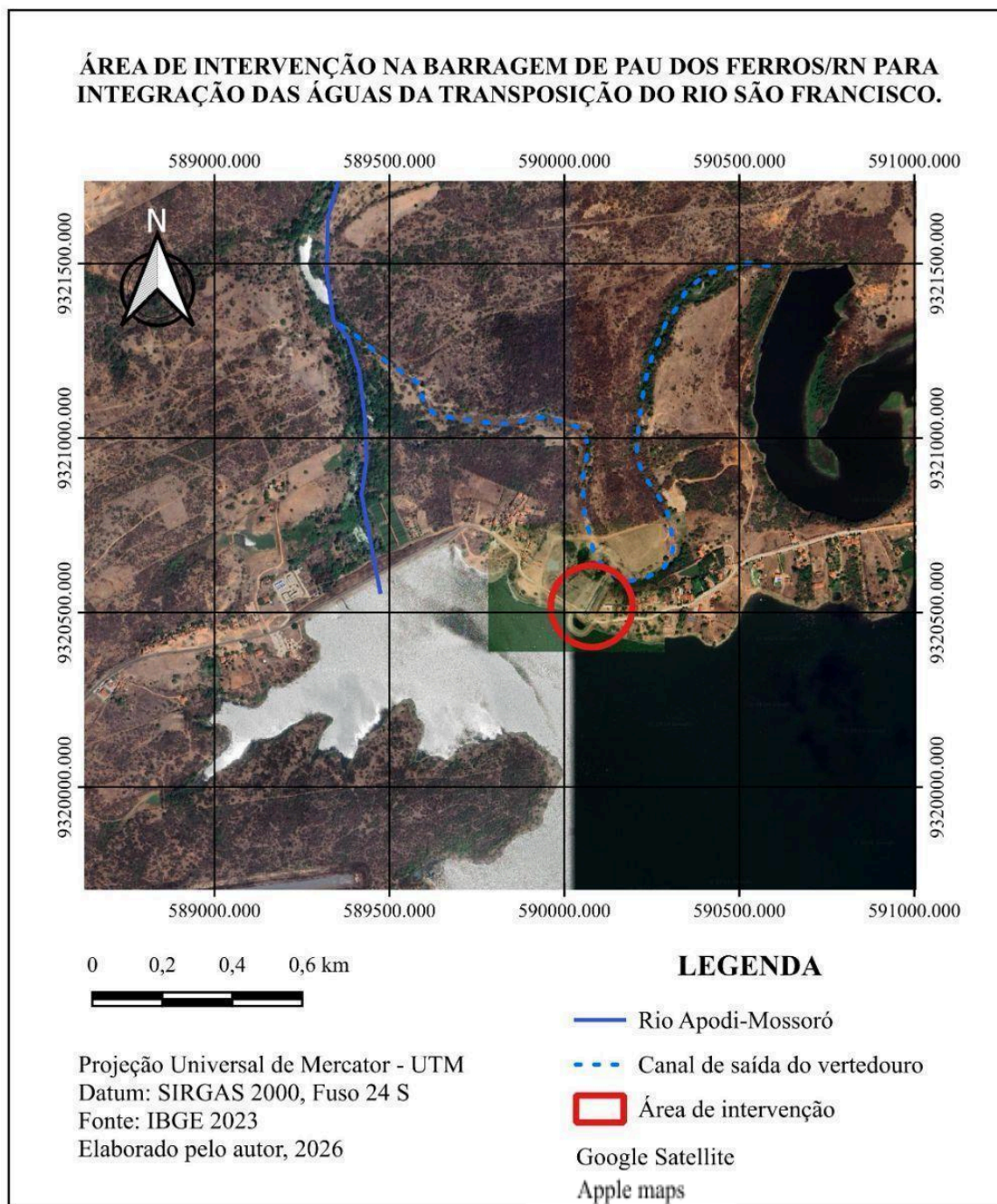
Figura 20 - Vista aérea do local de intervenção na barragem de Pau dos Ferros/RN



Fonte: Autoria própria, 2026.

Em uma perspectiva aérea mais distante (Figura 21), observa-se a continuidade da calha do vertedouro, o início do leito do rio e o reservatório situado a jusante da barragem principal. Essa configuração estrutural visa regularizar a vazão proveniente do Eixo Norte do PISF, garantindo a segurança hídrica e a transição do regime do Rio Apodi de intermitente para perene (Brasil, 2020)

Figura 21 - Área de intervenção e canal de saída do vertedouro da Barragem de Pau dos Ferros/RN



Fonte: Autoria própria, 2026.

A estrutura das comportas é construída em concreto armado (Figura 22), material selecionado por sua elevada resistência mecânica e durabilidade frente às solicitações hidrostáticas e ambientais severas. O projeto contempla dois condutos de seção circular com 2,45 metros de diâmetro cada e uma extensão aproximada de 100 metros de comprimento. Esta configuração é dimensionada para suportar as pressões internas e externas durante a operação de transferência hídrica.

Figura 22 - Construção das comportas à direita do vertedouro da Barragem de Pau dos Ferros/RN

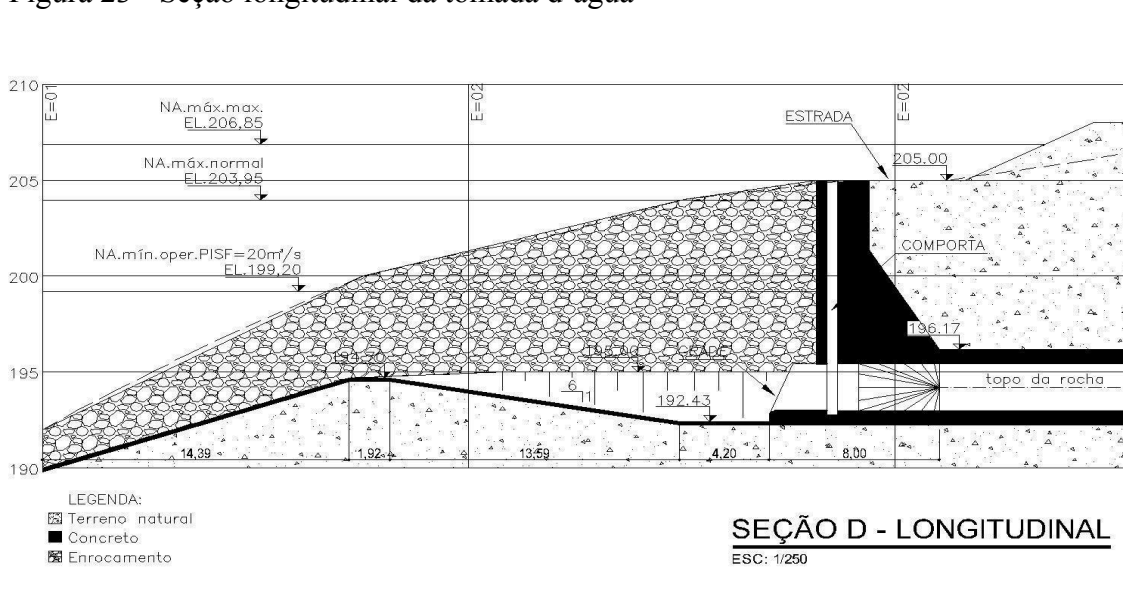


Fonte: Arquivo pessoal (2026).

De acordo com as informações detalhadas no projeto executivo, a vazão de operação nominal estabelecida será de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, quando o reservatório estiver operando em sua cota de nível mínimo operacional (NMO). Este parâmetro de vazão é fundamental para assegurar a perenização da calha do Rio Apodi-Mossoró a jusante, permitindo que o fluxo de integração mantenha a regularidade necessária para o abastecimento das regiões beneficiadas.

A Figura 23 apresenta o detalhamento da seção longitudinal da estrutura de tomada d'água, onde é possível visualizar com precisão geométrica o local de entrada do fluxo e a disposição dos condutos forçados. Através deste esquema, identificam-se os níveis de água previstos em projeto, incluindo as variações sazonais e as cotas críticas de operação que balizam o funcionamento automatizado das comportas. O dimensionamento desses condutos, com 2,45 metros de diâmetro, foi projetado para otimizar a eficiência hidráulica e minimizar as perdas de carga durante o transporte da água.

Figura 23 - Seção longitudinal da tomada d'água



Fonte: DNOCS e KL ENGENHARIA, (2015).

A Figura 24 detalha a setorização estratégica e a localização espacial das frentes de serviço prioritárias, identificadas e registradas durante a visita técnica no canteiro de obras do empreendimento. A organização dessas intervenções reflete a complexidade logística necessária para integrar a infraestrutura existente ao novo sistema de transposição.

O **ponto A** destaca a estrutura principal em concreto armado, concebida para o controle rigoroso das descargas hidráulicas da barragem.

O **ponto B** corresponde ao local por onde passa a tubulação, onde são executados os serviços de terraplenagem e conformação do aterro. Estas etapas são fundamentais e destacam-se pela aplicação técnica de uma camada de impermeabilização que, segundo a equipe, conta com aproximadamente 30 metros de argila. Esta camada é assentada sobre material de terceira categoria, exigindo rigoroso controle geotécnico para prevenir percolações indesejadas no corpo do maciço.

O **ponto C** identifica o canal de restituição posicionado a jusante do vertedouro. Atualmente, este trecho passou por um processo de adequação geométrica e estrutural, visando assegurar que o escoamento das vazões liberadas pelas comportas seja direcionado de maneira eficiente e segura para a calha do Rio Apodi-Mossoró, minimizando riscos de erosão nas margens imediatas.

As evidências fotográficas vinculadas a cada ponto fornecem um registro temporal das etapas construtivas, permitindo observar a evolução das fundações, o avanço da concretagem dos condutos forçados e a efetiva transformação do vertedouro original para acomodar as novas exigências de regularização hídrica perene impostas pelo PISF.

Figura 24 - Vista de satélite da área de implantação das comportas da Barragem de Pau dos Ferros-RN, com indicação dos principais elementos da obra e registro fotográfico das estruturas em construção



Fonte: Autoria própria, 2026.

Visando assegurar a integridade estrutural do canal de descarga e mitigar processos erosivos que põem em risco a funcionalidade da infraestrutura, a calha de saída da tomada d'água recebeu tratamento técnico de regularização mediante a aplicação de enrocamento de proteção, conforme visualizado na Figura 25.

Figura 25 - Enrocamento ao final da saída da tomada d'água



Fonte: Arquivo pessoal (2026).

Esta solução baseia-se na aplicação de blocos de pedra natural que dissipam a energia do escoamento pelo impacto, facilitando a transição para o regime natural do canal a jusante. Conforme aponta Henriques (2014), o enrocamento constitui uma solução técnica e economicamente favorável por sua natureza flexível e não monolítica, o que permite que a estrutura se adapte a eventuais deformações do terreno sem perder sua eficiência.

Essas modificações no sistema hidráulico da barragem de Pau dos Ferros, estabelecem a permanência de uma lâmina d'água na seção do rio, promovendo a transição de um regime hidrológico historicamente intermitente para uma condição de perenização. Somado ao aporte da transposição, a dinâmica de extravasão de reservatórios intermediários situados entre o barramento e o perímetro urbano exerce influência direta na manutenção de volumes constantes no trecho que atravessa a cidade durante a maior parte do período anual.

O fenômeno de vertimento dos reservatórios em Pau dos Ferros apresenta recorrência no primeiro semestre, acompanhando a sazonalidade do regime pluviométrico regional. Em maio de 2026, um evento crítico evidenciou essa vulnerabilidade quando o reservatório a montante atingiu sua cota de transbordo, resultando no alagamento da passagem molhada que provê acesso ao bairro São Geraldo. Tal ocorrência reitera os padrões de risco documentados por Costa (2010) no evento de 2004, e em maio de 2023, quando a estrutura voltou a

extravasar após longo período, impactando o referido setor urbano. Diante do novo cenário de fluxo contínuo, torna-se imperativo reavaliar as cotas sazonais de inundação e a integridade das estruturas de travessia sob a nova configuração de carga hidráulica perene.

5.2 Expectativas de transformação no cenário hidrológico regional.

A principal transformação hidrológica decorrente da integração do PISF no Alto Oeste Potiguar é a perenização do Rio Apodi-Mossoró. Tecnicamente, isso significa a transição de um sistema de rios temporários para um regime de fluxo contínuo e regularizado. A Barragem de Pau dos Ferros assume um papel central nesse novo cenário como um dos principais reservatórios receptores das águas do Eixo Norte, que prevê uma retirada contínua de 26,4 m³/s (sendo 16,4 m³/s destinados especificamente a este eixo).

Essa perenização altera drasticamente a dinâmica de armazenamento e vertimento do reservatório. Com o aporte constante de água transposta, a barragem manterá níveis de operação mais elevados ao longo do ano, o que reduz o espaço disponível para o amortecimento de cheias durante a quadra invernal. Consequentemente, a manutenção de um volume constante, somada aos picos de precipitação sazonal que podem superar os 200 mm mensais, tende a expandir as manchas de inundação e elevar as cotas de inundação em áreas urbanas e ribeirinhas vulneráveis.

Sob o ponto de vista da sinergia hídrica, o projeto oferece avanços técnicos significativos. A garantia de um suprimento de água perene possibilita que os reservatórios estratégicos abandonem a necessidade de manter níveis de segurança excessivamente rígidos, prática conhecida como "guardar água". Essa mudança operacional minimiza as perdas por evaporação em grandes superfícies líquidas e potencializa o aproveitamento do recurso para fins produtivos. Todavia, esse cenário impõe o desafio de uma gestão operacional mais sofisticada, baseada no monitoramento estrito das estruturas. Conforme informações da empresa encarregada das obras na barragem de Pau dos Ferros, essa demanda será atendida pela automação completa do sistema de comportas e das estruturas de descarga, medida essencial para prevenir o galgamento da crista e assegurar a integridade do maciço de terra diante de pressões hidráulicas contínuas.

No âmbito geomorfológico, espera-se que a constância do fluxo altere a morfologia do canal do Rio Apodi. A presença contínua de umidade deve estimular o rápido crescimento da vegetação ripária, promovendo a estabilização de barras arenosas e sua transformação em ilhas consolidadas. Embora isso aumente a estabilidade das margens, também pode alterar a

sinuosidade do rio e a sua capacidade natural de transporte de sedimentos, exigindo monitoramento contínuo para evitar o assoreamento acelerado do leito a jusante da barragem.

5.3 Diagnóstico dos pontos críticos de mobilidade

A investigação técnica concentrou-se nos trechos críticos da calha do Rio Apodi-Mossoró que apresentam vulnerabilidade histórica frente a eventos de extravasão. Conforme ilustrado na Figura 26, o traçado hídrico, ao emergir do canal de descarga, intercepta infraestruturas estratégicas em uma sequência geográfica definida.

Figura 26 - Localização dos pontos de travessia sobre o Rio Apodi-Mossoró nas áreas urbana e rural de Pau dos Ferros/RN



Fonte: Autoria própria (2026).

O primeiro ponto de interferência a jusante da barragem (**ponto A**) identifica a passagem molhada que viabiliza o acesso ao Sítio Taboleiro Grande e ao complexo turístico Serrote do Jatobá (Figura 27), tratando-se de uma estrutura elementar sensível ao aumento da lâmina d'água.

Figura 27 - Vista de satélite da passagem molhada da via de acesso ao Complexo Turístico Serrote do Jatobá e Sítio Taboleiro Grande em Pau dos Ferros/RN



Fonte: Autoria própria (2026).

Dando continuidade ao fluxo em direção à zona urbana, identificam-se as conexões vitais para o bairro São Geraldo. A primeira delas é a passagem molhada na rua Antônio Gurjão (**ponto C**), área severamente afetada por inundações devido à baixa cota altimétrica e à influência direta do reservatório situado a montante (Figura 28).

Figura 28 - Vista de satélite do reservatório situado a montante da tomada d'água



Fonte: Autoria própria (2026).

Historicamente, o vertimento da barragem pode isolar esta via, como ocorrido na cheia de 2004 (Costa, 2010). Como alternativa principal de mobilidade, destaca-se a ponte na RN-177 (**ponto B**), que embora ofereça maior segurança hidráulica, implica em aumento na distância de deslocamento (Figura 29).

Figura 29 - Vista de satélite das conexões do centro urbano com o bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN



Fonte: Autoria própria (2026).

Ambas as vias são essenciais para o escoamento de cargas pesadas vindas da BR-226 (Figura 30) e para o acesso à UFERSA, sendo que qualquer interrupção compromete a integração territorial (Brandão, 2007; Castro, 2009).

Figura 30 - Vista de satélite da conexão da BR-226 com o bairro São Geraldo em Pau dos Ferros/RN

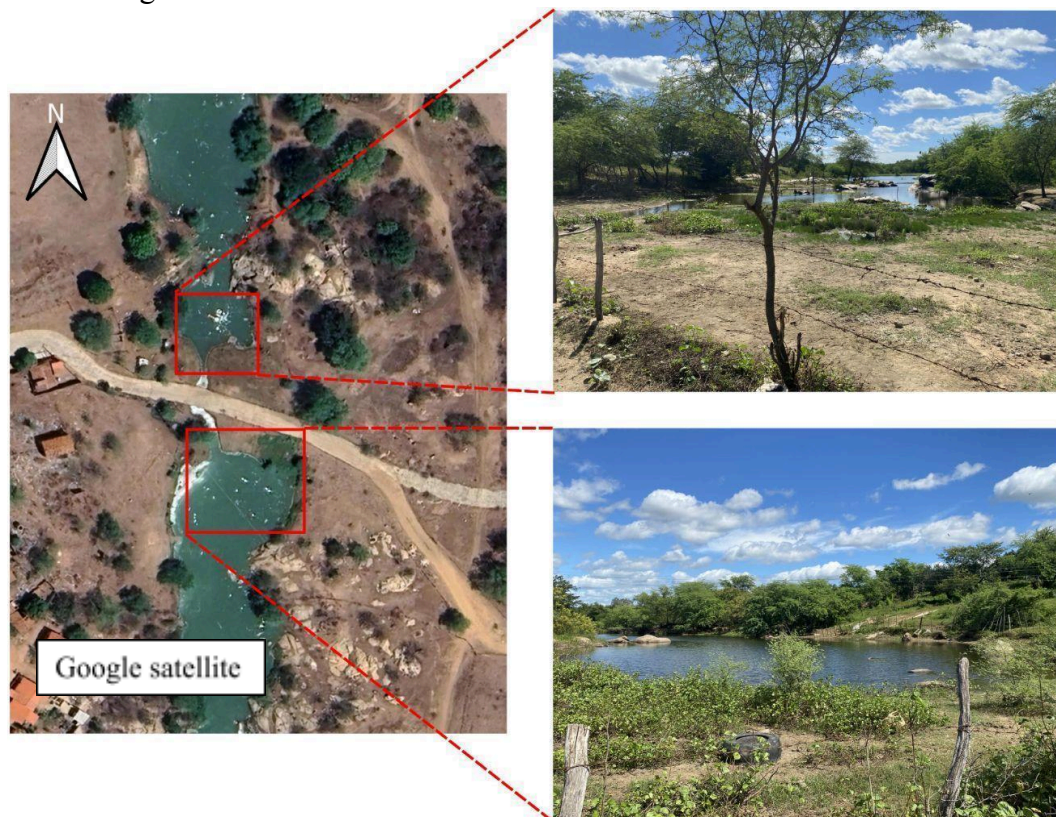


Fonte: Autoria própria (2026).

5.4 Análise da vulnerabilidade das estruturas de travessias

Na Figura 31 observa-se a passagem molhada que dá acesso ao Sítio Taboleiro Grande e ao complexo turístico Serrote do Jatobá, composta por tubulações de drenagem cuja capacidade hidráulica merece atenção diante das alterações previstas no regime hídrico local.

Figura 31 - Registro espacial da passagem molhada, evidenciando a proximidade entre a lâmina d'água e a infraestrutura de travessia

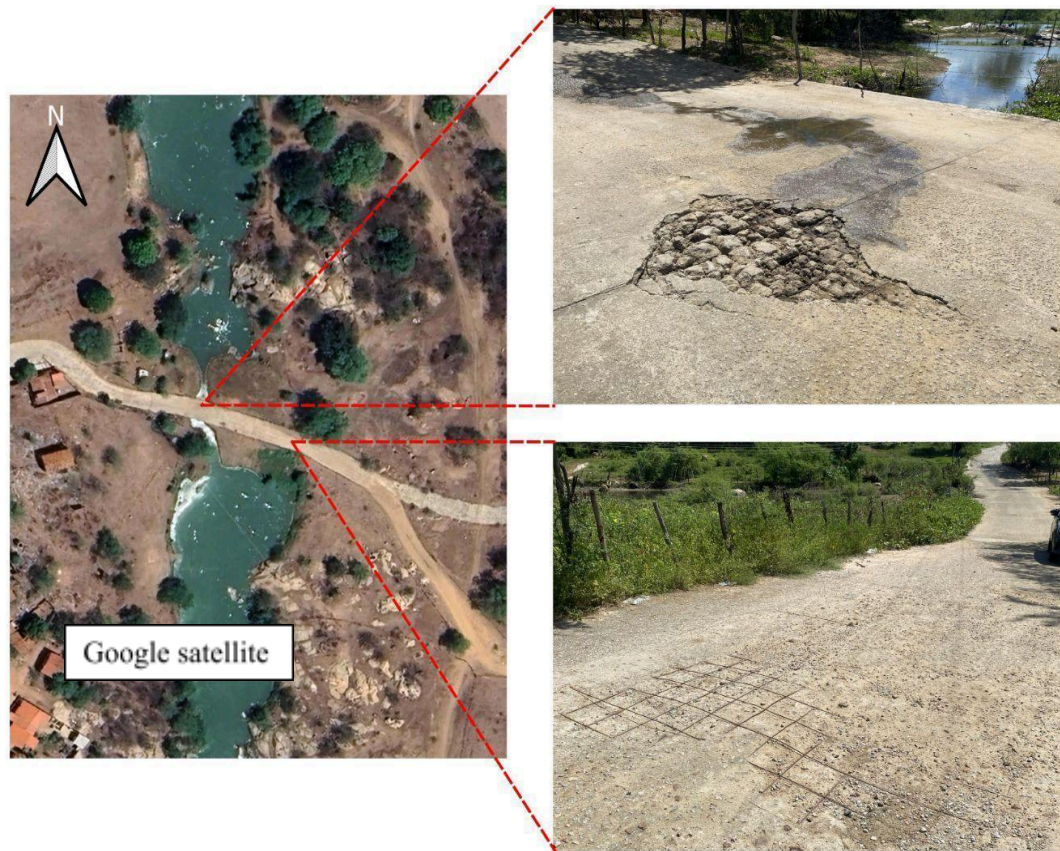


Fonte: Autoria própria (2026).

Verifica-se que a estrutura, guardando semelhanças com a travessia situada na rua Antônio Gurjão, apresenta reduzida cota altimétrica, conforme evidenciado na Figura 31, onde a lâmina d'água se projeta em nível próximo ao greide da via. Sob essa ótica, antecipa-se que o estabelecimento de um regime de fluxo perene e regular na calha do Rio Apodi-Mossoró poderá resultar em eventos de alagamento recorrentes nesse trecho específico.

Além disso, os danos na base da estrutura (Figura 32) e o acúmulo de sedimentos e materiais transportados pelo escoamento tendem a reduzir gradativamente a seção útil dos tubos, diminuindo sua eficiência hidráulica e potencializando os riscos de inundação da via, além de instabilidade estrutural na travessia.

Figura 32 - Condições estruturais da passagem molhada, evidenciando necessidade de readequação do greide



Fonte: Autoria própria (2026).

A travessia situada na rua Antônio Gurjão (Figura 33) configura-se como um dos trechos de maior complexidade técnica e criticidade para o fluxo urbano.

Figura 33 - Vista de satélite da passagem molhada na rua Antônio Gurjão no Bairro São Geraldo em Pau Dos Ferros/RN



Fonte: Autoria própria, (2026).

Diferentemente da estrutura rural analisada anteriormente, este dispositivo desempenha uma função estratégica na integração entre o núcleo central de Pau dos Ferros e o bairro São Geraldo, de modo que sua fragilidade hidrológica repercute diretamente na eficiência da malha viária municipal. A reduzida cota altimétrica do greide submete a via a episódios frequentes de transbordamento em situações de vertimento de reservatórios e durante os períodos de alto índice pluviométrico, corroborando os registros históricos de eventos de cheia que comprometem a mobilidade na região.

Este dispositivo apresenta elevada demanda operacional cotidiana, tendo sido submetido a intervenções de manutenção corretiva no ano de 2017. Conforme ilustra a Figura 34, a administração municipal, por intermédio da Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEINFRA), viabilizou a recuperação técnica do pavimento da passagem molhada que integra o bairro São Geraldo.

Figura 34 - Recuperação do pavimento da passagem molhada da Rua Antônio Gurjão no Bairro São Geraldo em Pau Dos Ferros/RN



Fonte: Prefeitura Municipal de Pau dos Ferros (2017).

Não obstante a recorrência das intervenções de manutenção, o pavimento da estrutura de travessia manifesta contínuos processos de degradação, impulsionados pelos episódios de inundação e pela intensa solicitação do tráfego local. A análise de registros espaciais recentes, exemplificada na Figura 35, permite constatar o avançado estado de deterioração da superfície de rolagem, evidenciando o comprometimento da funcionalidade da via.

Figura 35 - Condições estruturais da passagem molhada na Rua Antônio Gurjão no Bairro São Geraldo em Pau Dos Ferros/RN, evidenciando necessidade de readequação do pavimento.



Fonte: Autoria própria (2026).

5.5 Investigação das demandas para readequação da infraestrutura de transportes

A transição do Rio Apodi-Mossoró para um regime de fluxo perene, impulsionada pelo PISF, agrava a condição dessas estruturas, que não foram originalmente dimensionadas para suportar cargas hidráulicas permanentes e o aporte contínuo de vazões. A manutenção de um volume constante, somada ao aporte de chuvas sazonais, eleva as cotas de inundação e acelera processos erosivos nas bases das passagens molhadas e nos aterros de acesso. Conforme foi evidenciado no tópico anterior, a deterioração dessas travessias em um período ainda de intermitência do Rio Apodi-Mossoró só condiciona que diante de um fluxo constante e necessidade de utilização dessas conexões podem tornar ainda mais necessária a readequação dessas estruturas.

A necessidade de intervenções de engenharia, como o redimensionamento de bueiros, torna-se evidente ao analisar a Figura 36, que registra a travessia do complexo turístico e Sítio Taboleiro. Embora os tubos não estejam completamente preenchidos, verifica-se que a lâmina

d'água encontra-se relativamente próxima à cota superior da estrutura, mesmo em condições que não representam os níveis máximos observados durante o período chuvoso. Essa condição reduz a margem de segurança hidráulica da travessia e indica suscetibilidade ao afogamento da estrutura em situações de extravasão do reservatório localizado a montante ou durante eventos pluviométricos mais intensos. Nessas circunstâncias, o aumento das vazões e do nível d'água poderá ocasionar o galgamento da passagem molhada, comprometendo a trafegabilidade e a segurança dos usuários.

Figura 36 - Condição da travessia hidráulica de acesso ao Complexo Turístico Serrote do Jatobá e Sítio Taboleiro Grande em Pau dos Ferros/RN, evidenciando limitação da capacidade de escoamento



Fonte: Autoria própria (2026).

Esse cenário reforça que, diante do aporte constante de vazões, a ampliação da seção de drenagem ou a elevação do greide das vias são medidas indispensáveis para garantir a segurança estrutural e a continuidade da mobilidade, conforme apontado por Soares (2025) e Soares Júnior *et al.* (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo analisar as intervenções realizadas na Barragem de Pau dos Ferros em decorrência da chegada das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), com enfoque nas adaptações estruturais executadas, nas possíveis alterações da dinâmica hidrológica do rio Apodi-Mossoró e em seus reflexos sobre a mobilidade e a infraestrutura de travessias existentes na área de influência do empreendimento. Considerando que as obras ainda se encontram em fase de execução e que o sistema de comportas não opera em sua condição definitiva, as análises desenvolvidas não buscam apresentar resultados conclusivos sobre impactos já consolidados, mas fornecer subsídios para a compreensão dos cenários que poderão emergir a partir da regulação das vazões e da potencial perenização do rio.

Verificou-se que as intervenções executadas envolvem um conjunto de soluções de engenharia voltadas à modernização operacional da estrutura hidráulica. Destacam-se a implantação do sistema de comportas próximo ao vertedouro, a execução de estruturas provisórias, como a ensecadeira, além dos serviços de escavação, impermeabilização e construção de estruturas de concreto. Essas intervenções evidenciam a necessidade de adaptação da barragem a uma nova condição operacional, marcada pela possibilidade de maior controle dos volumes armazenados e das vazões liberadas a jusante.

Os levantamentos realizados permitiram evidenciar a estreita relação existente entre o comportamento hidráulico do rio Apodi-Mossoró e a funcionalidade das travessias distribuídas ao longo de seu curso. Embora os efeitos definitivos ainda dependam da operação futura do sistema, os cenários analisados indicam que a regularização das vazões poderá alterar significativamente as condições de circulação em determinados trechos, especialmente nas áreas onde a população depende de passagens molhadas e outras estruturas suscetíveis ao galgamento. Dessa forma, a ampliação da segurança hídrica regional poderá ser acompanhada por novos desafios relacionados à conectividade territorial e à manutenção da mobilidade local.

Com relação a integridade das estruturas de travessia, verificou-se que parte das obras existentes foi concebida para uma realidade hidrológica distinta da que poderá ser observada após a conclusão das intervenções na barragem. A análise das estruturas permitiu identificar diferentes níveis de vulnerabilidade, associados tanto às características construtivas quanto à frequência de exposição aos fluxos hidráulicos. Nesse contexto, o estudo evidencia a importância do monitoramento contínuo dessas estruturas, uma vez que a permanência ou o

aumento dos níveis de água poderá acelerar processos de degradação, comprometer elementos estruturais e reduzir a vida útil das obras atualmente em operação.

As análises desenvolvidas indicam que a eventual perenização do rio e a regulação das vazões poderão exigir intervenções adicionais em diversos pontos do território, incluindo adequação de passagens molhadas existentes, implantação de novas estruturas de travessia, reforço de dispositivos de drenagem e, em situações específicas, a substituição de estruturas vulneráveis por soluções mais resilientes. Embora a necessidade efetiva dessas intervenções dependa do comportamento hidrológico observado após a entrada em operação do sistema, os cenários levantados demonstram a importância do planejamento preventivo para evitar futuros comprometimentos da mobilidade e da acessibilidade das comunidades afetadas.

De forma integrada, os resultados obtidos reforçam que as obras associadas à chegada das águas da transposição à Barragem de Pau dos Ferros transcendem a dimensão estritamente hidráulica. A ampliação da disponibilidade hídrica e o maior controle operacional do reservatório possuem potencial para promover benefícios relacionados à segurança hídrica, ao abastecimento humano e ao desenvolvimento das atividades econômicas locais. Entretanto, tais transformações também produzem repercussões sobre a organização do território, a infraestrutura de transporte e as relações estabelecidas entre as comunidades e o rio Apodi-Mossoró.

Nesse sentido, o estudo evidencia que a efetividade dos benefícios associados à nova configuração hídrica dependerá da articulação entre gestão de recursos hídricos, planejamento territorial e investimentos em infraestrutura. A água, ao mesmo tempo em que representa um elemento estruturador do desenvolvimento regional, também impõe a necessidade de adaptação das estruturas físicas e das dinâmicas socioespaciais existentes. Assim, compreender antecipadamente os possíveis efeitos decorrentes da regulação das vazões constitui uma etapa fundamental para subsidiar decisões técnicas e políticas voltadas à construção de um território mais resiliente.

Por fim, destaca-se que este trabalho não encerra a discussão sobre os impactos da transposição na região, mas estabelece uma base de referência para estudos futuros. Recomenda-se que, após a conclusão das obras e o início da operação plena do sistema de comportas, sejam realizados monitoramentos hidrológicos, avaliações estruturais das travessias e estudos de mobilidade capazes de verificar, em campo, como os cenários prospectivos aqui apresentados se materializam no território.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Maria Cristina Cavalcanti et al. Impactos da chuva e alagamentos em ambiente urbano: um estudo do bairro de Petrópolis, em Natal/RN. **Open Science Research** VI, v. 6, p. 1470-1481, 2022.
- BRANDÃO, Carlos. **Território e desenvolvimento: as múltiplas escalas entre o local e o global**. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.
- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco/o-projeto>.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, jul. 2004. Disponível em: https://www.univasf.edu.br/~crad/arquivos/downloads/rima_07_2004.pdf. Acesso em: 14 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. : **Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Brasília: MIN, abr. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco/sumarios-executivos-dos-eixos-estruturantes-norte-e-leste-e-ramais-associados/eixos-estruturantes-norte-e-leste/2015/04-sumario-executivo-abril.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- CASTRO, César Nunes de. **Transposição do Rio São Francisco. Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), n. 2, p. 71-75, jul. 2009.
- COSTA, Franklin Roberto da. **Inundações urbanas no Semiárido Nordeste: o caso da cidade de Pau dos Ferros – RN**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- CHALE, David Chadreque. **Revisão sistemática de artigos relacionados com passagens molhadas ou pontes molhadas**. ALBA - ISFIC Research and Science Journal, v. 1, n. 6, p. 237-250, jan. 2025.
- FURTADO, Celso. **Formação econômica do Brasil**. 34. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.
- FREITAS, Adriana Soares de et al. **Perfil socioeconômico dos moradores dos entornos dos açudes Bonito e Carneiro e da barragem Pau dos Ferros**. Revista Estudo & Debate, Lajeado, v. 28, n. 2, p. 70-93, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v28i2a2021.2678>. Acesso em: 8 maio 2026.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE (EMPARN). **Relatório pluviométrico precipitação anual do município de Pau dos Ferros-RN**. Natal: EMPARN, 2026. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>. Acesso em: 21 mai. 2026.

ESC GROUP. **O que é uma ensecadeira, seus tipos e usos na indústria da construção?**. 2023. Disponível em: <https://www.escglobalgroup.com/pt/post/o-que-%C3%A9-uma-ensecadeira-seus-tipos-e-usos-na-ind%C3%BAstria-da-constru%C3%A7%C3%A3o-1>. Acesso em: 07 jun. 2026.

G1 RN. **Barragem de Pau dos Ferros sangra após 14 anos: "Vi ela seca, sem um pingo d'água, e a gente pedia isso a Deus"**. Rio Grande do Norte, 5 maio 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2023/05/05/barragem-de-pau-dos-ferros-sangra-apos-14-anos-vi-ela-seca-sem-um-pingo-dagua-e-a-gente-pedia-isso-a-deus.ghtml>. Acesso em: 22 jun. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. IBERDROLA. Tipos de barragens. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/geracao-eletrica-power/energia-hidreletrica/tipos-barragens>. Acesso em: 8 maio 2026.

GOMES, Matheus de Oliveira; TEIXEIRA, Rafael Lemos. **Análise e desenvolvimento de projeto construtivo de uma pequena barragem de terra no Córrego da Cava – Morrinhos/GO, com foco na segurança**. 2017. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Áreas Acadêmicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017.

GRANDE PONTO. **VÍDEO: chuva forte alaga ruas em Pau dos Ferros**. 27 jan. 2019. Disponível em: <https://www.grandeponto.com.br/noticia/video-chuva-forte-alaga-ruas-em-pau-dos-ferros>. Acesso em: 8 jun. 2026.

HENRIQUES, Tânia Margarida Sequeira. **Dimensionamento de Obras de Dissipação de Energia em Drenagem de Vias de Comunicação**. 2014. 238 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

MEDEIROS, Edson Ramos de; CARVALHO, Terciane Sabadini; SOUZA, Kênia Barreiro de. **Projeto de transposição do Rio São Francisco: impactos socioeconômicos no semiárido nordestino**. Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional, v. 9, n. 2, p. 1–22, 2021.

MADEIRO, Carlos. **Transposição pagou indenizações baixas e afetou índios e quilombolas, diz pesquisador**. UOL Notícias, Maceió, 10 mar. 2017. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/03/10/transposicao-pagou-indeni>

[zacoes-baixas-e-afetou-indios-e-quilombolas-diz-pesquisador.htm](#). Acesso em: 8 maio 2026.

PREFEITURA DE GRAVATÁ. **Obra de passagem molhada em Avencas é concluída e garante mais segurança na PE-078**. Gravatá, 30 jan 2026. Disponível em: <https://gravata.pe.gov.br/noticia/obra-de-passagem-molhada-em-avencas-e-concluida-e-garante-mais-seguranca-na-pe-078/>. Acesso em: 23 jun. 2026.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PAU DOS FERROS. **Prefeitura recupera passagem molhada do bairro São Geraldo**. Pau dos Ferros, 27 set. 2017. Disponível em: <https://www.paudosferros.rn.gov.br/informa/40/prefeitura-recupera-passagem-molhada-do-bairro-s-o>. Acesso em: 23 jun. 2026.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Instituto de Gestão das Águas do RN (IGARN). **Dados Volumétricos de Reservatórios do RN**. Natal: IGARN, 2026. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/>. Acesso em: 9 maio 2026.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Instituto de Gestão das Águas do RN (IGARN). : **relatório técnico de inspeção de segurança**. Natal: IGARN, 14 nov. 2024. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/barragem/7400/>. Acesso em: 22 jun. 2026.

RIBEIRO, Flavio Lopes. **O impacto social da transposição do Rio São Francisco**. Curitiba: Appris, 2021. 187 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=0LwzEAAQBAJ>. Acesso em: 18 maio 2026.

SALES, Juscelino Chaves; ALBUQUERQUE, Gerson Luis Apoliano. **Análise de vertedouros hidráulicos de açudes no estado do Ceará**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16., 2022, Fortaleza. Anais... Porto Alegre: ABRHidro, 2022. Disponível em: <https://XVISRHNE0092-1-20220718-212820>. Acesso em: 8 maio 2026.

SOARES JÚNIOR, Clodoaldo et al. **Descrição construtiva da obra de artes tipo passagem molhada encontrada no Estado da Paraíba**. Revista Mangaio Acadêmico, v. 6, n. 2, p. 93-104, 2021.

SIGARAFFA. **ALAGOU! São Geraldo | Pau dos Ferros RN 2023**. [S. l.]: YouTube, 2023. 1 vídeo (1 min, 11 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PWq5X5wdKq0>. Acesso em: 24 maio 2026.

THOMPSON, Philip L.; KILGORE, Roger T. **Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels**. Hydraulic Engineering Circular No. 14 (HEC-14). 3. ed. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2006. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/06086/hec14.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2026.

TV CHICO COBRA D'ÁGUA. **A Barragem de Pau dos Ferros chega a 50% da sua capacidade.** YouTube, 22 maio de 2026. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=GYI0qyDfFIU>. Acesso em: 24 de maio 2026.