



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

Gabriel Sarmento de Almeida

**AÇUDAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CARACTERÍSTICAS
CONSTRUTIVAS, ANOMALIAS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE BARRAGENS DE
TERRA DE PEQUENO PORTE**

PAU DOS FERROS

2024

Gabriel Sarmento de Almeida

**AÇUDAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CARACTERÍSTICAS
CONSTRUTIVAS, ANOMALIAS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE BARRAGENS DE
TERRA DE PEQUENO PORTE**

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.

Co-orientador: Vinícius Navarro Varela
Tinoco, Me.

PAU DOS FERROS

2024

© 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.

A447a Almeida, Gabriel Sarmento de.
Açudagem no semiárido brasileiro:
características construtivas, anomalias e
classificação de risco de barragens de terra de
pequeno porte / Gabriel Sarmento de Almeida. -
2024.
84 f. : il.

Orientador: José Daniel Jales Silva.
Coorientador: Vinícius Navarro Varela Tinoco.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Anomalias. 2. Categoria de risco. 3.
Barramento de terra. 4. Política nacional de
segurança de barragem. 5. Plano de Ação de
Emergência de Barragem. I. Silva, José Daniel
Jales, orient. II. Tinoco, Vinícius Navarro
Varela, co-orient. III. 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.

Gabriel Sarmiento de Almeida

**AÇUDAGEM NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CARACTERÍSTICAS
CONSTRUTIVAS, ANOMALIAS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE BARRAGENS DE
TERRA DE PEQUENO PORTE**

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

Defendida em: 28 / 02 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

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

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

John Eloi Bezerra, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

A minha bisavó Francisca Tavares de Araújo (In Memoriam), por todos os ensinamentos que me proporcionou.

A minha Família, em especial meus pais José Orlando Sarmento Lopes e Valeska Tavares de Almeida Sarmento e a minha avó Maria Tavares de Araújo, por terem feito o possível e o impossível para que eu conseguisse chegar até aqui. Aos meus irmãos Gabriela e José Miguel, essa vitória é para vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses cinco anos de trajetória, muitas experiências foram vividas, conquistas alcançadas e aprendizados adquiridos, moldando a pessoa que sou hoje e o profissional que serei no futuro. Durante essa caminhada, diversas pessoas passaram pela minha vida e, de alguma forma, todas contribuíram para o meu crescimento.

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus e a Nossa Senhora de Aparecida, por todas as bênçãos e conquistas intercedidas em minha vida. Em cada nova jornada e em cada fase superada, senti sua presença me guiando em direção a um futuro promissor.

Minha família foi o alicerce fundamental para enfrentar os desafios que surgiram ao longo dessa jornada. Agradeço imensamente à minha mãe, Valeska, ao meu pai, José, à minha avó, Maria Tavares, e aos meus irmãos, Gabriela e José Miguel. O cuidado, a atenção e as palavras de incentivo de vocês foram minha fortaleza, permitindo que eu chegasse até aqui.

Sou profundamente grato a todas as oportunidades que a universidade me proporcionou. Durante esses cinco anos, participei de diversos projetos enriquecedores, como História da Matemática, Casa Sustentável, Competição de Pontes de Palito de Picolé, Monitoria de Topografia e a Empresa Júnior. Cada uma dessas experiências contribuiu para minha formação, consolidando o profissional que agora ingressa no mercado de trabalho.

Um agradecimento especial à empresa júnior Pirâmides Soluções em Topografia, que desempenhou um papel essencial no meu crescimento pessoal e profissional. Foi por meio dessa experiência que desenvolvi minhas habilidades de liderança e comunicação, além de vivenciar momentos inesquecíveis e conhecer pessoas que deixaram uma marca em minha vida. A todos da Pirâmides, minha eterna gratidão.

Aos amigos que estiveram comigo desde o início do curso, Luís Gustavo e Matheus Henrique, agradeço o companheirismo e amizade incondicional ao longo desses anos. Mesmo seguindo caminhos diferentes, nossa amizade sempre se manteve firme na minha trajetória acadêmica.

Acredito nos propósitos de Deus para nossas vidas, e no final dessa jornada ele me presenteou com amizades fundamentais para minha caminhada. Por isso, agradeço de coração a Adriana, Adalberta, Maycon, Vitória e Habadara. A presença e apoio de vocês foram essenciais nos momentos de dificuldade e nos melhores momentos vividos.

Aos amigos do ensino médio, que mesmo após cinco anos continuam presentes em minha vida, minha eterna gratidão: Anna Beatriz, Viviane, Jonathan, Açucena e Maria Alice.

A amizade de vocês foi e sempre será de grande importância para mim, e espero que, apesar da distância, possamos manter esse vínculo de irmãos.

Agradeço também a Ryan Fernandes, Wallace Dantas, Gabriel Fernandes e Pedro Henrique, pela amizade constante e por estarem presentes em momentos importantes da minha vida. Saibam que sou imensamente grato por compartilhar essa caminhada com vocês.

Agradeço a todos os meus amigos e irmãos do EJC, por estarem comigo nessa jornada e por todas as orações e interseções proferidas a mim.

Expresso ainda minha gratidão a todo o corpo docente da UFERSA Campus Pau dos Ferros, que, com dedicação e zelo, transmitiu conhecimento e contribuiu para a formação de inúmeros profissionais. Em especial, ao meu orientador de pesquisa e monitoria, José Daniel Jales Silva, cujas orientações foram fundamentais para meu crescimento acadêmico, pessoal e profissional. Espero ter retribuído, de alguma forma, todo o conhecimento e apoio recebidos e ao meu coorientador Navarro por toda disponibilidade para o processo dessa pesquisa.

Por fim, agradeço a esta instituição que me acolheu de braços abertos há cinco anos, proporcionando-me momentos inesquecíveis e moldando-me para ser um profissional qualificado. Aos responsáveis administrativos e servidores terceirizados, minha gratidão por todo o aprendizado transmitido de diferentes formas. Muito obrigado!

RESUMO

As barragens desempenham um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, sendo essenciais para impulsionar o crescimento de municípios e regiões, com isso torna-se evidente a importância de analisar detalhadamente as características construtivas e monitorar o comportamento dessas obras. Com isso este trabalho tem como objetivo analisar as características construtivas, a classificação de risco e as anomalias presentes em barragens de terra de pequeno porte localizadas no interior do Rio Grande do Norte, especificamente nos municípios de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins. A pesquisa buscou caracterizar os barramentos com base em seus elementos construtivos e geometria, além de avaliar sua categoria de risco e o dano potencial associado. Por meio de inspeções visuais, serão identificadas anomalias estruturais que possam comprometer a segurança dessas barragens e, com base nos resultados obtidos, serão elaboradas recomendações para adequação das estruturas para cumprir as diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A relevância desse estudo se dá pela importância estratégica das barragens no armazenamento de água, sendo fundamentais para mitigar os impactos da seca na região. No entanto, além da construção dessas infraestruturas, é essencial garantir sua segurança e integridade, uma vez que a presença de anomalias e a ausência de elementos estruturais adequados podem aumentar significativamente os riscos, colocando em perigo as populações localizadas a jusante. Dessa forma, a pesquisa será desenvolvida em quatro etapas principais: levantamento teórico, que consiste no estudo das normativas e das técnicas construtivas aplicadas a barragens de terra; seleção dos barramentos mais relevantes, considerando sua importância para a região e o risco de serem negligenciados; visitas de campo, que envolverá inspeções visuais e levantamento topográfico da área estudada para identificar possíveis falhas estruturais; e, por fim, a classificação dos barramentos, avaliando sua categoria de risco e o dano potencial associado, conforme as normativas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Com essa abordagem, o estudo pretende contribuir para o aprimoramento da gestão da segurança de barragens na região, garantindo não apenas a proteção da população, mas também a eficiência dessas estruturas no armazenamento hídrico, promovendo um uso mais seguro e sustentável dos recursos hídricos locais.

Palavras-chave: anomalias; categoria de risco; barramento de terra; política nacional de segurança de barragem; plano de ação de emergência de barragem.

ABSTRACT

Dams play a fundamental role in economic and social development, being essential to drive the growth of municipalities and regions. Therefore, it becomes evident the importance of analyzing in detail the construction characteristics and monitoring the behavior of these works. Therefore, this work aims to analyze the construction characteristics, risk classification and anomalies present in small earth dams located in the interior of Rio Grande do Norte, specifically in the municipalities of Água Nova, José da Penha and Antônio Martins. The research sought to characterize the dams based on their construction elements and geometry, in addition to evaluating their risk category and the potential associated damage. Through visual inspections, structural anomalies that may compromise the safety of these dams will be identified and, based on the results obtained, recommendations will be made for adapting the structures to comply with the guidelines of the National Dam Safety Policy (PNSB). The relevance of this study is due to the strategic importance of dams in water storage, being fundamental to mitigate the impacts of drought in the region. However, in addition to the construction of these infrastructures, it is essential to ensure their safety and integrity, since the presence of anomalies and the absence of adequate structural elements can significantly increase risks, endangering populations located downstream. Thus, the research will be developed in four main stages: theoretical survey, which consists of studying the regulations and construction techniques applied to earth dams; selection of the most relevant dams, considering their importance to the region and the risk of being neglected; field visits, which will involve visual inspections and topographic survey of the studied area to identify possible structural failures; and, finally, the classification of the dams, evaluating their risk category and the associated potential damage, in accordance with the regulations of the National Water Resources Council (CNRH). With this approach, the study aims to contribute to the improvement of dam safety management in the region, ensuring not only the protection of the population, but also the efficiency of these structures in water storage, promoting a safer and more sustainable use of local water resources.

Keywords: anomalies; risk category; earth dam; national dam safety policy; dam emergency action plan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Tipos de barragens	21
Figura 2 - Barragem de enrocamento com núcleo de terra.....	23
Figura 3 - Barragem de enrocamento com membrana impermeável.....	24
Figura 4 - Elementos de uma barragem.....	25
Figura 5 - Representação borda livre.....	25
Figura 6 - Tomada d'agua	27
Figura 7 - Vertedouro	28
Figura 8 - Dreno de pé.....	29
Figura 9 - Representação filtro chaminé e tapete drenante	29
Figura 10 - Representação da percolação	32
Figura 11- Representação de vegetação excessiva	33
Figura 12 - Representação da erosão	34
Figura 13 - Representação rachadura longitudinal	35
Figura 14 - Representação rachadura transversal	36
Figura 15 - Esquema.....	39
Figura 16 - Barramento de Água Nova	48
Figura 17 - Localização área de estudo	49
Figura 18 - Elementos do barramento	50
Figura 19 - Sistema de bombeamento	51
Figura 20 -Tendencia de extravasamento	52
Figura 21 - Área de extravasamento.....	53
Figura 22 - Presença de vegetação excessiva	57
Figura 23 - Surgência de água no pé do barramento	58
Figura 24 - Localização barramento	59
Figura 25 - Barragem Angicos	60
Figura 26 -Talude barramento José da Penha.....	61
Figura 27 - Proteção Talude de montante.....	61
Figura 28 - Vertedouro da Barragem Angicos	62
Figura 29 - Régua medição de nível de água.....	63
Figura 30 - Presença de vegetação no barramento angicos	66
Figura 31 - Presença de água na base do talude de jusante barramento angicos.....	67
Figura 32 - Presença de água na crista do barramento angicos	68

Figura 33 - Estrutura de drenagem barramento angicos.....	69
Figura 34 - Localização barramento corredor	70
Figura 35 - Barramento corredor	71
Figura 36 - Talude barramento corredor.....	72
Figura 37 - Marco topográfico barragem corredor.....	73
Figura 38 - Pavimentação paralelepípedo barramento corredor.....	74
Figura 39 - Vertedouro barragem corredor.....	74
Figura 40 - Presença de vegetação no barramento do corredor.....	78
Figura 41 - Cobertura dos taludes do barramento do corredor.....	79
Figura 42- Afundamento da crista barramento corredor	80
Figura 43 - Surgência de água a jusante barramento corredor	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de características técnicas.....	41
Tabela 2 - Estado de conservação.....	42
Tabela 3 - Plano de segurança de barragens.....	44
Tabela 4 - Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado.....	45
Tabela 5 - Categoria de Risco	46
Tabela 6 - Dano potencial associado	46
Tabela 7 - Pontuação das características técnicas	54
Tabela 8 - Resultado estado de conservação	54
Tabela 9 - Resultado do plano de segurança de barragem	54
Tabela 10 - Resultado dano potencial associado	55
Tabela 11 - Cálculo da categoria de risco.....	55
Tabela 12 - Pontuação das características técnicas barragem angicos	63
Tabela 13 - Resultado estado de conservação barragem angicos.....	64
Tabela 14 - Resultado do plano de segurança de barragem do barramento angicos.....	64
Tabela 15 - Resultado dano potencial associada barragem angicos.....	65
Tabela 16 - Cálculo da categoria de risco barragem angicos	65
Tabela 17 - Pontuação das características técnicas barragem corredor.....	75
Tabela 18 - Resultado estado de conservação barragem corredor.....	75
Tabela 19 - Resultado do plano de segurança de barragem do barramento corredor.....	76
Tabela 20 - Resultado dano potencial associada barragem corredor.....	76
Tabela 21 - Cálculo da categoria de risco barragem corredor.....	76
Tabela 22 - Resumo de resultados.....	81
Tabela 23 Semelhança de anomalias nos barramentos.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.
CNRH	Conselho Nacional de Recurso Hídricos.
CE	Ceará.
DPA	Dano Potencial Associado.
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Seca.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
MDE	Modelo Digital de Elevação.
OFSB	Órgãos Fiscalizadores de Segurança de Barragens.
PAE	Plano de Ação de Emergência.
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco.
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens.
PSB	Plano de Segurança de Barragem.
RN	Rio Grande do Norte
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SNISB	Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Geral	18
2.2 Específicos	18
3 JUSTIFICATIVA.....	19
4 REVISÃO TEÓRICA	20
4.1 Tipos de barragem.....	21
4.2 Elementos principais de uma barragem.....	24
4.3 Instrumentos de medição de barragens.....	30
4.3.1 Medidores de nível d'água	30
4.3.2 Piezômetro	30
4.3.3 Medidores de recalque.....	31
4.4 Anomalias em barragens de terra.....	31
4.4.1 Percolação.....	31
4.4.2 Presença de vegetação excessiva.....	32
4.4.3 Erosão	33
4.4.4 Rachaduras longitudinais.....	34
4.4.5 Rachaduras transversais.....	35
4.5 Aspectos legais de uma barragem	36
5 METODOLOGIA	38
6 RESULTADOS E DISCURSÃO	48
6.1 Barragem de água nova	48
6.1.1 Classificação da barragem.....	53
6.1.2 Anomalias.....	56
6.2 Barragem angicos	58
6.2.1 Classificação da barragem.....	63
6.2.2 Anomalias.....	66
6.3 Barragem corredor.....	69
6.3.1 Classificação da barragem.....	75
6.3.2 Anomalias.....	77
7 CONCLUSÃO.....	84

REFERÊNCIAS..... 85

1 INTRODUÇÃO

As barragens desempenham um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, sendo essenciais para impulsionar o crescimento de municípios e regiões. Projetadas para atender a diversas finalidades, elas contribuem diretamente para a melhoria da qualidade de vida e para a sustentabilidade das sociedades. Além disso, permitem o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos, viabilizando a geração de energia, o abastecimento de água, o controle de cheias e a irrigação, fatores que fortalecem o desenvolvimento econômico e social em diferentes escalas territoriais (Monte *et al.*, 2017).

De acordo com Souza (2017), as barragens são estruturas fundamentais para garantir a oferta de insumos básicos necessários à sociedade, pois controlam os recursos hídricos e oferecem múltiplos benefícios, como o armazenamento de grandes volumes de água. Esse armazenamento é essencial para garantir o abastecimento público, principalmente em áreas sujeitas a longos períodos de escassez hídrica, importante para a exploração hidrelétrica em uma determinada bacia hidrográfica, para facilitação da navegação fluvial e contribui para a agricultura, ao viabilizar a irrigação para o cultivo de alimentos.

A Lei Federal nº 12.334 estabelece diretrizes para a Política Nacional de Segurança de Barragens, definindo normas para a fiscalização e gestão dessas estruturas. Conforme o Art. 5º da legislação, a responsabilidade pela fiscalização cabe às entidades oficiais responsáveis pelas outorgas ou pelos direitos de uso dos recursos hídricos associados às barragens. Além disso, anualmente, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) publica um relatório detalhado sobre as condições de segurança dessas estruturas, fornecendo informações essenciais para a prevenção de riscos e a adoção de medidas corretivas.

O Relatório de Segurança de Barragens (RSB) apresenta uma análise de aproximadamente 24.000 barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), monitoradas por 33 Órgãos Fiscalizadores de Segurança de Barragens (OFSB) distribuídos nas 27 unidades da federação. Observa-se uma evolução gradual na implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) no que se refere à classificação e regularização dessas estruturas (Ana, 2022). O aumento desse cadastro tem como um dos seus fatores os dois maiores acidentes relacionados ao rompimento de barragens, que ocorreram nos municípios de Mariana, em 2015 e Brumadinho, em 2019, ambos em Minas Gerais, onde foram registrados inúmeros óbitos e diversos danos à população a jusante.

Segundo o RSB 2023, os órgãos fiscalizadores reportaram 25 acidentes e 25 incidentes com barragens durante o período de 1 de janeiro a 31 de dezembro do ano de 2023. O número de

relatos sobre acidentes e incidentes diminuiu em relação ao RSB 2022, com informações mais detalhadas e extensas. Os dados de acidentes e incidentes apresentados obtiveram uma redução de 42% do valor reportado em incidentes de 2022 e uma permanência de ocorrências em acidentes em relação ao ano anterior. Destaca-se que, embora um valor reduzido de ocorrências de acidente e incidentes seja evidência de um cenário positivo, antes é preciso avaliar sob o ponto de vista da gestão de emergência, sendo importante verificar possível impacto originado pela falta de informação.

Diante disso, o risco associado às barragens continua sendo motivo de precaução. Torna-se necessário abordar constantemente conhecimentos relacionados à gestão de riscos, mitigação e resiliência, a fim de desenvolver estratégias favoráveis à população, considerando que os efeitos danosos dos impactos espaciais, ambientais e socioeconômicos de grandes catástrofes se estendem para além de soluções imediatas (Carneiro, 2023).

Erosão, percolação, assoreamento e recalques são alguns dos fatores que podem causar sérios danos à estrutura e comprometer as atividades operacionais das barragens, expondo-as ao risco de ruptura. A erosão pode desgastar as superfícies e margens, a percolação envolve a infiltração de água pela estrutura, o assoreamento reduz a capacidade do reservatório e os recalques, que são afundamentos desiguais, podem desestabilizar a barragem.

Diante disso, torna-se evidente a importância de analisar detalhadamente as características construtivas e monitorar continuamente o comportamento dessas obras ao longo dos anos. Isso é crucial porque falhas ou eventos inesperados podem acarretar impactos sociais, econômicos e ambientais de grande magnitude, afetando a segurança das comunidades a jusante e resultando em sérios prejuízos financeiros e ecológicos para a região e o país.

Barragens de pequeno porte apresentam riscos significativos devido à falta de fiscalização e manutenção adequada, além de técnicas de construção rudimentares e uso de materiais de baixa qualidade. Estruturas como essas frequentemente não seguem projetos técnicos detalhados, tornando-se vulneráveis a falhas como infiltrações, erosões e até mesmo rompimentos, especialmente em barragens de terra, que são comuns nesse segmento.

Mesmo de menor capacidade, o rompimento de uma barragem pequena pode causar alagamentos em áreas próximas, impactando diretamente a população local e danificando propriedades. Além disso, há riscos ambientais, como a poluição de cursos d'água e a destruição de ecossistemas devido ao vazamento de sedimentos e resíduos.

Diante disso, torna-se essencial compreender as características, a classificação de risco e a integridade desses barramentos, uma vez que essas análises são fundamentais para identificar possíveis vulnerabilidades e mitigar riscos associados ao rompimento. Essa compreensão é

crucial para garantir não apenas a segurança estrutural das barragens, mas também a proteção das populações localizadas a jusante, que podem ser diretamente impactadas em casos de falha.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise das barragens localizadas nas cidades de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins, no interior do estado do Rio Grande do Norte. A pesquisa busca aprofundar o conhecimento sobre as características construtivas dessas estruturas, identificar e avaliar as condições patológicas que possam comprometer sua integridade e entender os riscos associados à sua operação. Além disso, a investigação pretende fornecer subsídios técnicos para o aprimoramento das práticas de segurança e manutenção, contribuindo para a prevenção de acidentes e a proteção das comunidades a jusante dessas barragens. Dessa forma, o estudo visa não apenas a avaliação estrutural, mas também o desenvolvimento de recomendações práticas para a gestão de riscos.

2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos que se pretende atingir com a realização da pesquisa aqui sugerida, de modo geral e de modo específico:

2.1 Geral

Caracterizar barragens de pequeno porte na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró/RN visando garantir sua segurança, funcionalidade e durabilidade.

2.2 Específicos

1. Caracterizar os barramentos de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins em termos de geometria e elementos construtivos;
2. Identificar, por meio de inspeção visual, as anomalias presentes nos barramentos de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins;
3. Classificar os barramentos de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins quanto aos níveis de risco e periculosidade;
4. Elaborar recomendações para o atendimento dos barramentos à Política Nacional de Segurança de Barragens.

3 JUSTIFICATIVA

No contexto do estado do Rio Grande do Norte, as construções de barragens têm sido apontadas como uma solução estratégica para mitigar os impactos da seca por meio do armazenamento de água, prática conhecida como açudagem. Um exemplo marcante é a Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, localizada na bacia do rio Piranhas–Assu, abrangendo os municípios de Assú, Itajá e São Rafael. Com um volume de armazenamento de 2,4 bilhões de metros cúbicos, essa barragem desempenha um papel essencial no abastecimento hídrico e no desenvolvimento econômico da região, especialmente no suporte à produção agrícola do Vale do Assú.

Com isso, o presente trabalho busca analisar as características construtivas e as possíveis patologias presentes na barragem de regularização das cidades de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins, no interior do Rio Grande do Norte.

Além disso, uma construção de grande porte como uma barragem requer a implementação de análises que garantam a segurança da estrutura, permitindo acompanhar seu comportamento ao longo dos anos e evitando possíveis desastres. Sandroni (2022) ressalta que um colapso da barragem com o reservatório cheio pode ser considerado um desastre, pois acarreta enchentes na região a jusante, destruição de patrimônios externos ao complexo de barramento e paralisação prolongada ou definitiva da operação.

Desta forma, este estudo oferece auxílio a tomada de decisões e na aplicação de medidas preventivas e corretivas, com ênfase na segurança e sustentabilidade das barragens.

4 REVISÃO TEÓRICA

Barragens são estruturas construídas para contenção de substâncias líquidas (ou misturas de líquidos e sólidos), cujo objetivo é a formação de um reservatório de acumulação. As barragens podem ser construídas fora ou dentro de um curso d'água e a sua estrutura típica é aquela construída transversalmente a linha de fluxo (Ana, 2024).

A maioria das barragens no Brasil são destinadas à acumulação de água, cujo objetivo principal é obter uma reserva hídrica para o consumo durante os períodos de estiagem. Em contraponto, barragens são também muito utilizadas para reter o excedente de água, quando se tem a ocorrência das vazões elevadas nos períodos chuvosos, permitindo a atenuação de ondas de cheias (Ana, 2024).

Gaioto (2003) observa que o projeto de uma barragem está frequentemente ligado a grandes empreendimentos, que podem apresentar diferentes graus de complexidade dependendo de sua finalidade. Para que um projeto de barragem alcance sua forma final, ele deve passar por uma série de etapas, as quais, de modo geral, são: planejamento, viabilidade técnico-econômica, anteprojeto, projeto básico e projeto executivo.

Segundo Gaioto (2003), a fase de planejamento é influenciada por uma série de fatores, como topografia, hidrografia, economia e, por vezes, políticas, que podem variar significativamente entre diferentes regiões.

Na etapa de viabilidade técnico-econômica, conforme Gaioto (2003), são realizados estudos para avaliar a viabilidade do custo total, incluindo despesas com projeto, construção, desapropriações, juros do capital investido e custos diretos e indiretos de operação. Durante essa análise, são consideradas alternativas viáveis, priorizando aquelas que apresentam maior custo-benefício.

Na fase de anteprojeto, já devem estar definidos o tipo de barragem e o local de implantação. Nesse estágio, são também analisados os métodos necessários para o desvio do leito do rio, visando a construção, além de estudos geológicos das jazidas próximas, que garantem economia e eficiência no planejamento da execução.

O projeto básico compreende o conjunto de desenhos necessários para colocar a obra em concorrência e para a contratação da empreitada. É responsável pelo cronograma da construção, onde são definidas as datas-limite para conclusão de cada etapa prevista.

Por fim, o projeto executivo reúne os documentos finais, contendo todos os detalhes essenciais para a construção. Gaioto (2003) destaca ainda a importância de emitir esses

documentos com antecedência suficiente para assegurar a viabilidade da obra dentro do prazo estabelecido.

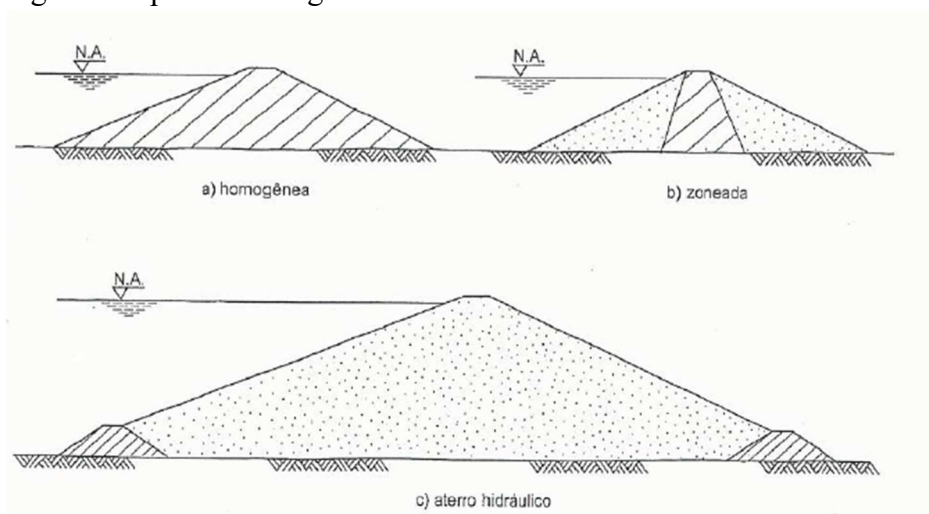
Durante a fase de anteprojeto, é essencial escolher o tipo de barragem a ser implementada, que pode ser classificada em duas categorias: barragens de regularização e barragens de retenção (Costa, 2014). De acordo com Carvalho (2017), as diferentes categorias de barragens possuem finalidades específicas. As barragens de retenção têm como principal objetivo conter ondas de cheias, prevenindo danos em áreas a jusante, além de poderem reter sedimentos ou resíduos industriais. Já as barragens de regularização visam regularizar a vazão dos cursos d'água, armazenando água durante os períodos mais chuvosos e liberando-a gradualmente durante a seca, garantindo atividades como navegação, geração de energia hidrelétrica e abastecimento da população.

Além de serem classificadas pela finalidade, as barragens também podem ser caracterizadas pelo porte e pelo material utilizado na construção. Segundo Massad (2010) e regulamentado pela PNSB na Lei nº 12.334/2010, barragens de grande porte são aquelas com altura superior a 15 metros e comprimento de crista acima de 500 metros. Quanto ao material do maciço, Massad (2010) as categoriza em três tipos principais: barragens de terra, de enrocamento e de concreto, cada uma com propriedades específicas que influenciam sua resistência e durabilidade.

4.1 Tipos de barragem

Segundo Gaioto (2003), as barragens de terra podem ser classificadas de seção homogênea, zoneada ou de aterro hidráulico, como é possível analisar na Figura 1.

Figura 1-Tipos de barragens



Fonte: Gaioto, (2003).

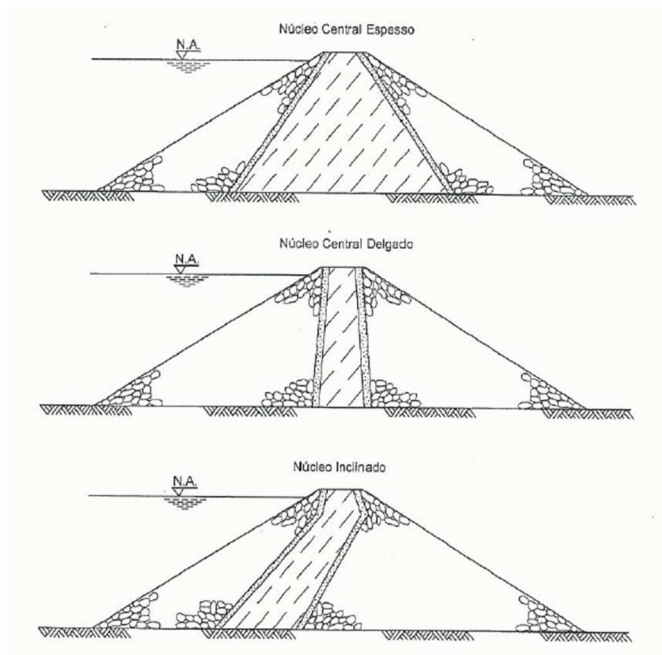
As barragens de terra homogênea são compostas quase exclusivamente por um único tipo de solo, compactado uniformemente em toda a estrutura. Esta simplicidade estrutural torna sua execução mais acessível, embora exija um rigoroso controle de compactação para evitar problemas de infiltração e instabilidade. Segundo Massad (2010), essas barragens são indicadas para locais onde há baixa disponibilidade de materiais e onde o lençol freático se mantém profundo, diminuindo o risco de infiltração.

Já as barragens de terra zoneada apresentam uma estrutura mais complexa, com diferentes materiais organizados em zonas específicas para atender a funções distintas dentro do maciço. Segundo Terzaghi e Peck (1996), esse tipo de barragem é composto por um núcleo impermeável central, geralmente feito de argila compactada, e zonas de transição e drenagem nas laterais, feitas de solos menos permeáveis. Essa disposição permite maior controle de permeabilidade e estabilidade, tornando as barragens zoneadas adequadas para locais onde é necessário minimizar infiltrações e maximizar a resistência da estrutura.

Por fim, as barragens de aterro hidráulico são construídas utilizando um método específico de deposição de materiais em suspensão, transportados por água e depositados por decantação. Esse tipo de construção, como observado por Fell *et al.* (2015), é indicado para regiões onde o transporte de materiais é limitado ou onde o custo de movimentação de terra é elevado. A deposição por camadas hidráulicas resulta em uma estrutura compacta e estável, embora o controle da granulometria dos materiais seja crucial para evitar riscos de erosão interna.

As barragens de enrocamento podem ser classificadas em dois tipos: barragem com núcleo de terra e barragem com membrana impermeável, o núcleo de terra pode ser vertical ou inclinado, espesso ou delgado como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Barragem de enrocamento com núcleo de terra



Fonte: Gaioto, (2003).

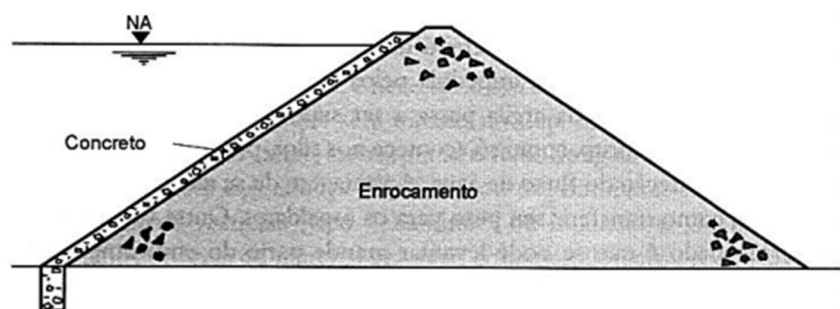
O núcleo espesso, como descrevem Fell *et al.* (2015), é projetado para aumentar a impermeabilidade da barragem. A espessura maior permite uma melhor contenção da água, mas pode exigir um volume significativo de material impermeável (geralmente argila), tornando a construção mais onerosa. Esse tipo de núcleo é apropriado para áreas onde a disponibilidade de solo argiloso é alta, garantindo uma barreira mais robusta contra infiltrações e aumentando a resistência do barramento.

O núcleo inclinado é disposto com uma inclinação em relação ao eixo da barragem, o que, conforme Terzaghi e Peck (1996), proporciona uma vantagem estrutural ao permitir que o núcleo fique em uma posição mais protegida, próximo ao talude de montante. Esse arranjo facilita a drenagem e reduz a pressão de água ao longo do núcleo, aumentando a estabilidade da barragem. Esse tipo de núcleo é particularmente útil em regiões com altos índices de precipitação ou com solos de baixa resistência.

As barragens de enrocamento com membrana impermeável, de acordo com Gaioto (2003), tiveram sua origem na Califórnia, Estados Unidos. Elas foram inicialmente construídas para armazenar água utilizada nos processos de mineração, aproveitando as rochas extraídas pelos mineiros para compor o maciço da barragem. A impermeabilização era feita com uma estrutura de pranchas de madeira, complementada por membranas de chapas de aço e camadas de asfalto. Com o avanço das tecnologias de concreto, as membranas de montante passaram a

ser feitas quase exclusivamente de concreto armado, caracterizando as barragens de enrocamento com face de concreto, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Barragem de enrocamento com membrana impermeável



Fonte: Massad, (2010).

Segundo Gaioto (2003), na construção de barragens de enrocamento com face de concreto, a espessura da laje de concreto varia com a profundidade da água no reservatório. No topo, inicia-se com 0,3 m, acrescidos de 0,3% da profundidade da água. Na base, a laje é mais espessa, formando o plinto, cuja largura corresponde a $1/20$ da altura da barragem sobre rocha sã ou $1/10$ sobre rocha alterada.

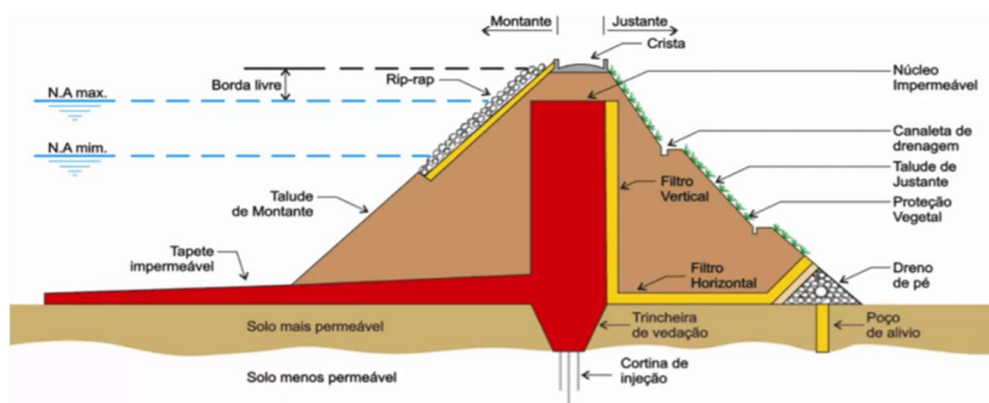
Barragens de concreto são estruturas compostas por materiais granulares naturais ou artificiais, combinados a aditivos químicos que aprimoram suas propriedades, como resistência e durabilidade. Essas barragens são classificadas principalmente conforme sua forma e geometria, o que determina seu comportamento estrutural e sua capacidade de suportar pressões de água em diferentes tipos de terrenos e condições ambientais. Entre as principais classificações, destacam-se as barragens de gravidade, de gravidade aliviada. Cada tipo possui características estruturais distintas, adequando-se a diferentes configurações de terreno e objetivos de projeto, seja em termos de economia de material, estabilidade ou eficiência no controle das pressões exercidas pelo reservatório.

4.2 Elementos principais de uma barragem

Dada a multiplicidade de fatores a serem considerados na elaboração do projeto de uma barragem de terra ou de enrocamento, mesmo aplicando a mesma metodologia, dificilmente a seção transversal final de uma barragem será repetida em outro projeto. Para definir a seção transversal adequada, é essencial analisar diferentes técnicas e alternativas, visando garantir a estabilidade da estrutura. Nesse processo, alguns elementos fundamentais devem estar

presentes, como a borda livre ("free board"), a crista, os taludes e a proteção dos taludes e da crista.

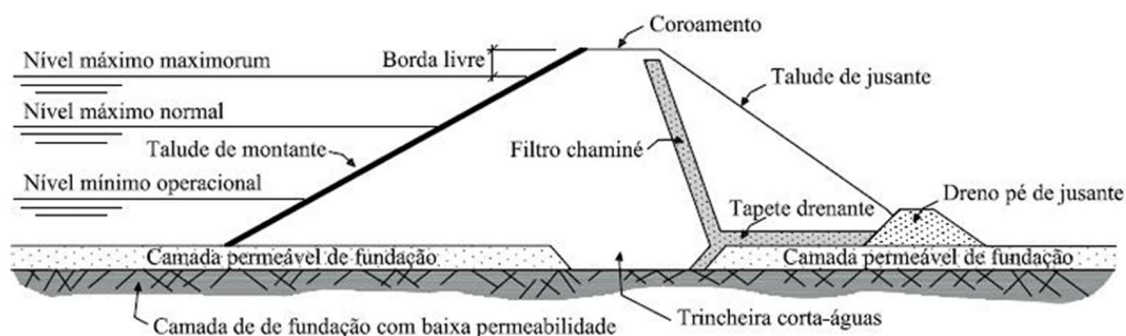
Figura 4 - Elementos de uma barragem



Fonte: Carvalho, (2011).

Segundo Gaioto (2003), a borda livre é a diferença de altura que deve ser mantida entre o nível da crista da barragem e o nível máximo do reservatório, assegurando que as ondas geradas pelo vento não ultrapassem a estrutura. Essa margem de segurança é essencial para evitar transbordamentos e proteger a integridade da barragem, como mostra a figura 5.

Figura 5 - Representação borda livre



Fonte: ANA, (2015).

Gaioto (2003) também afirma que a largura da crista é determinada pelas exigências de tráfego sobre ela. Na maioria das barragens, essa largura varia entre 6 e 12 metros, sendo recomendadas larguras maiores para barragens mais altas ou para aquelas que possuem estruturas de concreto mais complexas. Mesmo para barragens de menor porte, uma largura mínima de 3 metros é recomendada, de modo a garantir condições adequadas de acesso para manutenção.

Gaioto (2003) explica que os taludes de montante e jusante de uma barragem são definidos com base em diversos fatores, como os tipos de materiais utilizados na construção, a

geometria interna da estrutura, as características da fundação e as condições às quais a barragem será submetida durante a construção e operação. Inicialmente, os taludes podem ser determinados com base na experiência de barragens previamente construídas em condições e com materiais semelhantes. No entanto, análises de estabilidade realizadas para os cenários de carregamento previstos são essenciais para avaliar se os taludes propostos atendem aos critérios mínimos de estabilidade definidos no projeto, podendo ser ajustados, caso necessário, para garantir a segurança da estrutura.

Gaioto (2003) ressalta a importância de proteger o talude de jusante das barragens contra processos erosivos causados pela ação da chuva, cujas águas podem alcançar grandes velocidades ao percorrer a distância entre o topo e o pé do talude. Em barragens de enrocamento com núcleo de terra ou face de concreto, o problema de erosão é solucionado pela disposição de blocos maiores de enrocamento na face de jusante, oferecendo maior resistência. Já nas barragens de terra, é necessário subdividir o talude em trechos de até 10 metros de altura, intercalando bermas com cerca de 3 a 5 metros de largura. Nessas bermas são instaladas canaletas de concreto, responsáveis por captar as águas das chuvas que descem dos trechos superiores e da própria berma, conduzindo-as, por meio de tubos de concreto, até o pé do talude. Uma componente essencial nas barragens são as tomadas d'água como ilustra a Figura 6, estrutura que permite a liberação controlada da água do reservatório para usos específicos. As tomadas d'água podem ser condutos que atravessam o maciço da barragem, sua fundação ou túneis escavados em ombreiras rochosas. Além de fornecer água para consumo ou irrigação, elas podem ser utilizadas para rebaixar ou esvaziar o reservatório quando necessário (Snisb, 2022).

Figura 6 - Tomada d'agua



Fonte: Arquivo pessoal, (2023).

O funcionamento de uma barragem de terra baseia-se na resistência oferecida pelo maciço de solo compactado, que contém a pressão da água no reservatório. A tomada d'água é projetada para captar o recurso hídrico na cota desejada, garantindo a qualidade e a quantidade adequadas para o uso pretendido. A operação eficiente da tomada d'água é crucial para a gestão dos níveis do reservatório e para assegurar o fornecimento contínuo de água

Nas barragens, também é comum a presença de vertedores como ilustrado na Figura 7, dispositivos hidráulicos projetados para regular o escoamento de líquidos, com a finalidade de medir e/ou controlar a vazão em canais. Eles podem ser classificados de diferentes formas, considerando características como o formato (simples ou composto), a espessura da soleira (delgada ou espessa), a existência ou não de contrações laterais, e o modo de operação (livres ou afogados).

Figura 7 - Vertedouro



Fonte: Arquivo pessoal, (2023).

Esses dispositivos têm ampla aplicação em sistemas de irrigação, estações de tratamento de água e esgoto, barragens, além do controle e medição de vazões em pequenos cursos d'água e no gerenciamento do escoamento em condutos livres. Os tipos de vertedores mais comuns incluem os retangulares, os de parede espessa, os de parede delgada e os do tipo comporta (Silva, 2016). A figura 7 ilustra um vertedouro construído em um barramento das obras do PISF.

Para prevenir futuras anomalias no corpo das barragens, é indispensável a implementação de drenos de pé, componentes essenciais para a estabilidade e segurança dessas estruturas. Esses drenos desempenham a função primordial de coletar e conduzir a água que percola pelo corpo da barragem, evitando o acúmulo excessivo de pressão hidrostática que poderia comprometer a integridade do maciço, ilustrado na figura 8.

Figura 8 - Dreno de pé



Fonte: Silveira, (2022).

Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), os drenos de pé consistem em zonas de material permeável localizadas no pé do talude de jusante ou em trincheiras escavadas sob o pé, também preenchidas com material permeável. Essa configuração eficiente permite que a água infiltrada seja interceptada e conduzida para fora da barragem de maneira segura, assegurando sua estabilidade estrutural e prevenindo possíveis falhas.

Também é possível encontrar outros elementos de drenagem em barragens como o filtro chaminé e os tapetes drenantes como é possível verificar na figura 9.

Figura 9 - Representação filtro chaminé e tapete drenante



Fonte: ANA, (2015).

No interior de algumas barragens, há a presença de uma zona drenante, que pode ser disposta vertical ou inclinadamente ao longo de praticamente toda a sua altura. Essa estrutura, conhecida como filtro chaminé, se estende horizontalmente por meio de um tapete drenante na região de contato com a fundação e por um prisma de enrocamento, formado por blocos de pedra, localizado no talude de jusante. Essas zonas drenantes compõem o sistema de drenagem interna da barragem, desempenhando a função essencial de conduzir a água que atravessa a zona de montante, a fundação e as ombreiras até a jusante, evitando danos estruturais. O filtro chaminé é estrategicamente posicionado entre o núcleo da barragem e o maciço estabilizador de jusante, garantindo a eficiência do escoamento interno.

4.3 Instrumentos de medição de barragens

Segundo Costa (2014), a instrumentação de uma barragem é realizada com diversos tipos de instrumentos instalados simultaneamente à construção, tanto nas fundações quanto no corpo da própria barragem. Esses instrumentos não apenas garantem o controle da segurança da estrutura, mas também permitem a verificação das hipóteses, critérios e parâmetros adotados no projeto, reforçando continuamente a segurança da barragem.

De acordo com o capítulo 3 do Volume VIII do Manual do Empreendedor da Agência Nacional de Águas (Ana, 2016), os equipamentos de instrumentação devem ser inspecionados e verificados em intervalos regulares. Para isso, deve-se adotar um plano de manutenção que considere a quantidade, a complexidade e a relevância dos equipamentos, assegurando a eficácia dos procedimentos operacionais e a segurança e funcionalidade da barragem.

4.3.1 Medidores de nível d'água

Os medidores de nível d'água são instrumentos básicos empregados em barragens. Como o próprio nome indica, sua função principal é monitorar o nível do lençol freático em estruturas de terra ou rocha. Simplificadamente, isso se realiza por meio de um furo de sondagem ou poço, acompanhado da determinação da cota do nível d'água.

4.3.2 Piezômetro

Os piezômetros são instrumentos essenciais para medir as pressões em maciços de terra ou rocha, desempenhando um papel fundamental na segurança de barragens. Existem diversos tipos de piezômetros, projetados para atender a diferentes necessidades e condições específicas. Entre os principais modelos, destacam-se o piezômetro de tubo aberto, o hidráulico e o elétrico de corda vibrante.

4.3.3 Medidores de recalque

De acordo com Gaioto (2003), os medidores de recalque são instrumentos utilizados para monitorar os deslocamentos verticais (recalques) em maciços de terra. Eles consistem em várias placas ou anéis instalados no interior do maciço ao longo de uma mesma vertical. Cada placa ou anel é conectado a uma haste vertical, cuja extremidade superior emerge na superfície do aterro, onde são realizadas as medições de nível.

4.4 Anomalias em barragens de terra

A Resolução ANA nº 742/2011 estabelece, no art. 2º: “As Inspeções de Segurança Regulares de Barragem devem ser realizadas regularmente, para avaliar as condições físicas das partes integrantes da barragem visando identificar e monitorar anomalias que afetem potencialmente a sua segurança”.

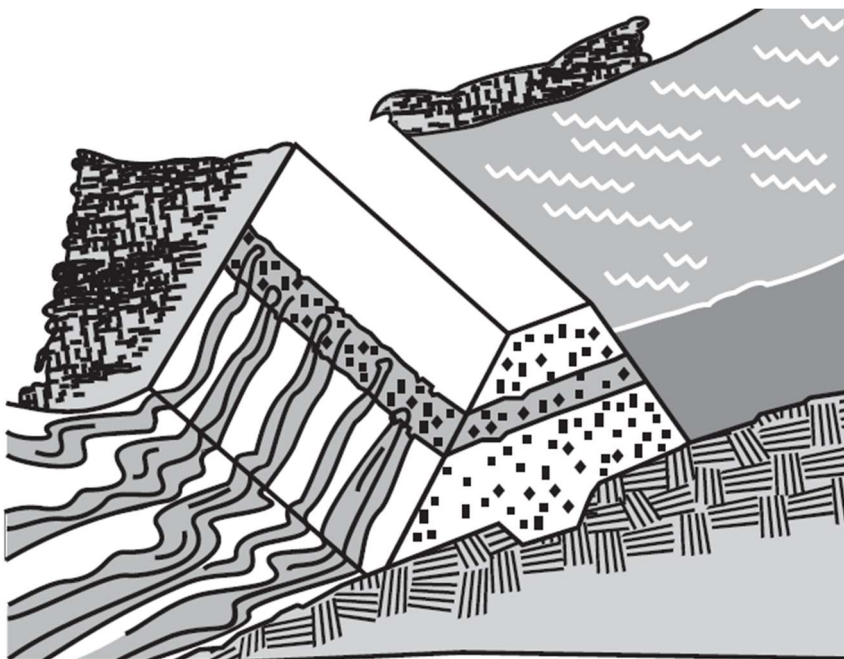
Conforme o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (2016), uma anomalia em barragens de terra é caracterizada como qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa comprometer a segurança da estrutura, seja a curto ou longo prazo. A análise dessas anomalias exige a identificação de seus tipos, a avaliação do impacto na segurança da barragem e a implementação de medidas corretivas adequadas.

4.4.1 Percolação

Rupturas de barragens são, em sua maioria, provocadas pela água, seja devido ao extravasamento que causa erosão nos taludes, seja por percolação excessiva, que mobiliza partículas do solo na fundação. O controle inadequado da ação hidráulica reduz a resistência efetiva do solo compactado, favorecendo o deslizamento da estrutura ao gerar uma força adicional. Além disso, gradientes hidráulicos elevados intensificam o transporte de material, agravando o processo de instabilidade.

Trata-se de uma anomalia caracterizada pelo deslocamento da água através do maciço e da fundação, que pode se tornar problemática caso ocorra o transporte de partículas do solo do maciço ou da fundação pelo fluxo de água da barragem, ou ainda quando houver aumento da pressão na fundação ou no barramento (Ana, 2016).

Figura 10 - Representação da percolação



Fonte: Ministério da Integração Nacional, (2002).

A percolação no corpo e na fundação da barragem pode ser controlada por meio de dispositivos como filtros e drenos internos (verticais ou inclinados), que interceptam e direcionam o fluxo de forma segura; tapetes horizontais; e drenos de pé.

Os poços de alívio, instalados na região de jusante, têm a função de reduzir as subpressões nos materiais mais permeáveis situados abaixo da camada menos permeável, geralmente argilosa. Esses dispositivos também auxiliam no controle da direção e do volume do fluxo sob a barragem. Subpressões excessivas podem causar erosão interna do material de fundação e comprometer a estabilidade do maciço (Ana, 2016).

4.4.2 Presença de vegetação excessiva

O crescimento de árvores e arbustos nos taludes de montante, de jusante e na área imediatamente após a jusante do barramento pode comprometer a estrutura devido ao desenvolvimento das raízes. Exemplos incluem a redução da distância de percolação, o aumento de vazios no maciço pela decomposição de raízes ou pela remoção de árvores, além do bloqueio de tubos e sistemas de drenagem. Ademais, a vegetação excessiva dificulta ou até impede a realização de inspeções visuais e físicas da estrutura e das áreas próximas, prejudicando a identificação de outras anomalias (Ana, 2016).

Figura 11- Representação de vegetação excessiva



Fonte: ANA, (2016).

4.4.3 Erosão

A erosão refere-se ao processo de desgaste e transporte do material do talude causado por agentes naturais, como água, vento ou gravidade. Esse fenômeno pode comprometer a estabilidade do talude e, conseqüentemente, a segurança da barragem, especialmente se não for controlado ou mitigado. Causado pela água das chuvas carregam material da superfície do talude, resultando numa calha/vala contínua (Ana, 2016).

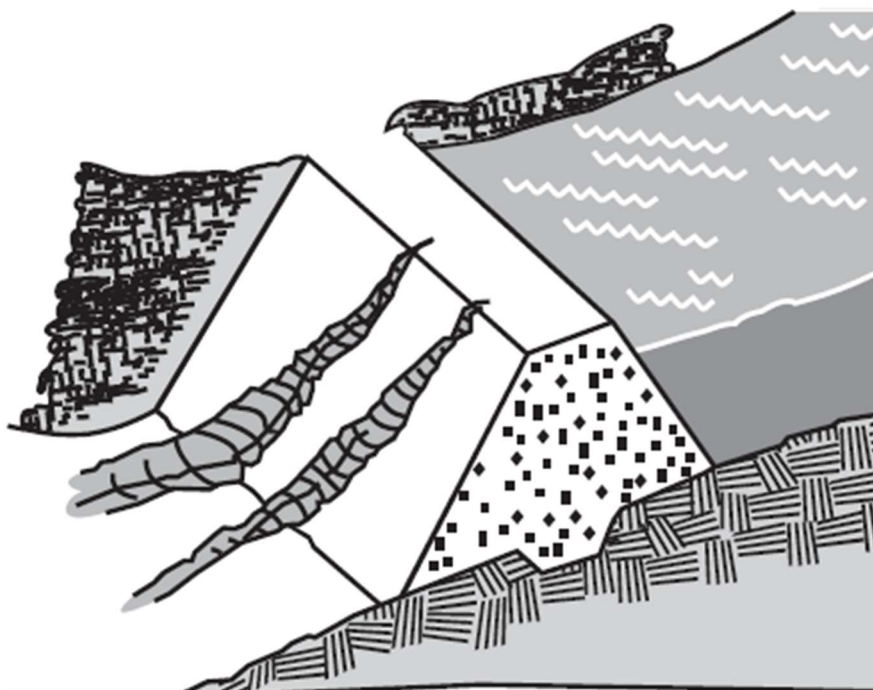
A erosão superficial é uma das mais comuns e ocorre devido à ação direta da chuva e do escoamento superficial sobre o talude. Quando a água da chuva impacta a superfície do solo, partículas podem ser removidas gradualmente, tornando a estrutura mais vulnerável. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Ana, 2017), a falta de cobertura vegetal e a ausência de um sistema eficiente de drenagem contribuem significativamente para esse tipo de erosão.

Um estágio mais avançado desse processo é a erosão em sulcos e ravinas, que ocorre quando o escoamento superficial se concentra em determinados pontos, criando canais que se aprofundam progressivamente, esse tipo de erosão pode acelerar a degradação dos taludes se não forem adotadas medidas como revestimentos protetores e controle adequado das águas pluviais.

Outro tipo crítico de erosão em barragens é a erosão interna, também conhecida como *piping*, que ocorre quando a água infiltra no interior do maciço e carrega partículas do solo,

criando vazios internos. Esse fenômeno pode levar a rupturas progressivas e ao colapso estrutural da barragem.

Figura 12 - Representação da erosão



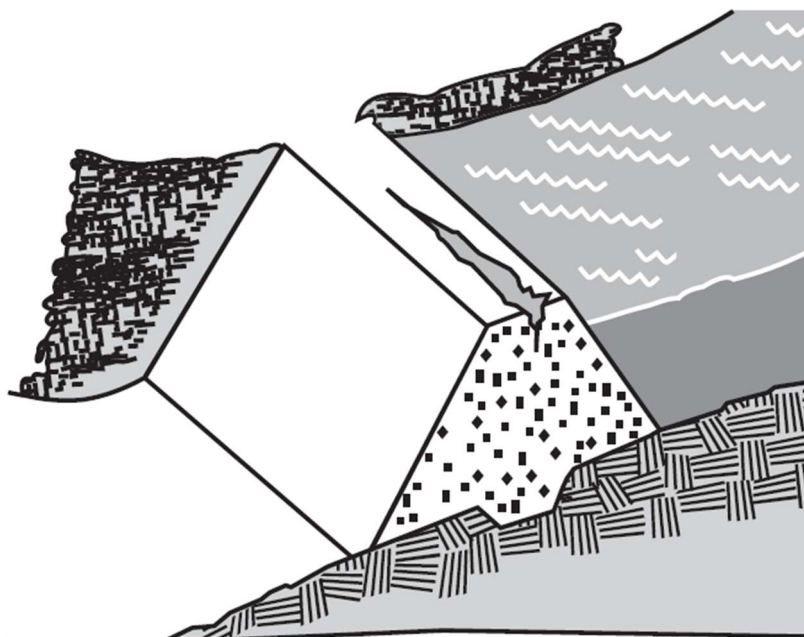
Fonte: Ministério da Integração Nacional, (2002).

4.4.4 Rachaduras longitudinais

As rachaduras longitudinais em um talude de uma barragem são rachaduras que se desenvolvem ao longo da direção paralela ao eixo da barragem. Essas rachaduras geralmente surgem como resposta a tensões no maciço do talude ou ao longo de camadas de materiais com diferentes características geotécnicas. Como exemplo: Ressecamento ou retração do material de superfície (Ana, 2016).

O surgimento dessa anomalia representa um risco significativo para a estabilidade e segurança do barramento, pois pode intensificar a infiltração de água, aumentando a percolação e favorecendo processos de erosão interna, como o piping, que comprometem a integridade da estrutura. Além disso, as rachaduras reduzem a resistência estrutural da barragem, tornando-a mais suscetível a esforços hidrostáticos e impactos externos, o que pode acelerar sua deterioração e aumentar o risco de falhas.

Figura 13 - Representação rachadura longitudinal

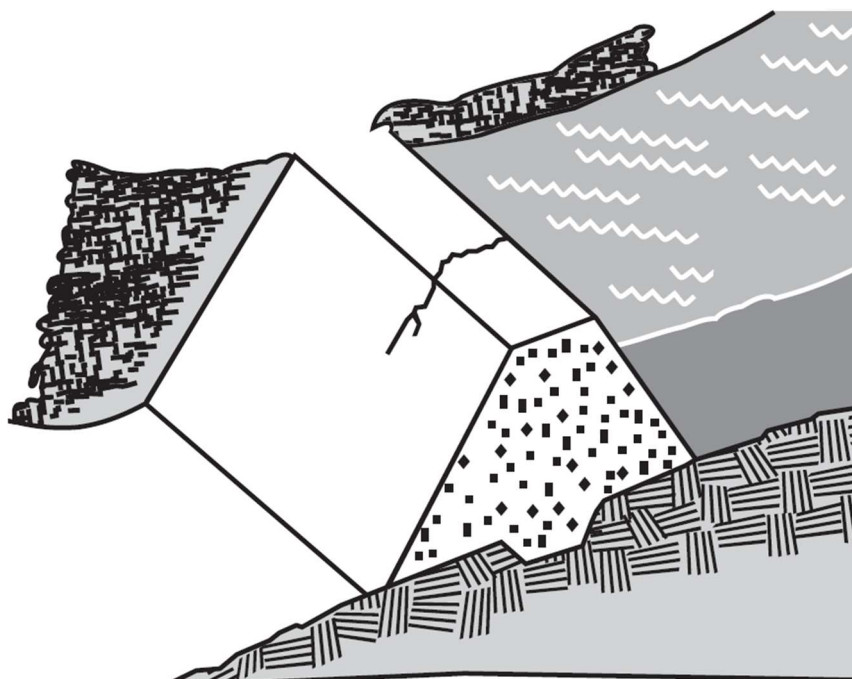


Fonte: Ministério da Integração Nacional, (2002).

4.4.5 Rachaduras transversais

As rachaduras transversais são aberturas ou rachaduras que se formam perpendicularmente ao eixo da barragem, geralmente ao longo da superfície do talude. Essas fissuras indicam tensões internas no maciço da barragem ou no material do talude, e podem sinalizar problemas estruturais ou processos erosivos em andamento. O recalque diferencial do maciço da barragem também provoca fissuras pronunciadas (rachaduras) transversais. Por exemplo: o centro recalca mais que as ombreiras (Ana, 2016).

Figura 14 - Representação rachadura transversal



Fonte: Ministério da Integração Nacional, (2002).

4.5 Aspectos legais de uma barragem

Embora a ruptura de uma barragem seja um evento relativamente raro, suas consequências podem ser extremamente graves. Grandes barragens localizadas em vales densamente ocupados a jusante apresentam maior risco de falhas. Os prejuízos materiais não se limitam à destruição da estrutura, mas incluem também a perda de recursos e a inundação de extensas áreas. Ainda mais preocupantes são os potenciais perdas de vidas humanas, que tornam os danos incomparavelmente mais severos (Viseu, 2013).

Para assegurar a segurança das barragens ao longo de sua vida útil, é essencial adotar medidas eficazes de prevenção e controle. Quando devidamente implementadas, essas ações reduzem significativamente, ou até eliminam, a probabilidade de acidentes. No entanto, é igualmente importante complementá-las com medidas de defesa civil, visando mitigar as consequências de possíveis incidentes, especialmente em situações em que os danos potenciais sejam elevados.

Com isso, a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, conhecida como Lei de Segurança de Barragens, criou a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecendo diretrizes para a garantia da segurança dessas estruturas. A legislação detalha as atribuições e os mecanismos de controle necessários para preservar a estabilidade e a funcionalidade das barragens ao longo de sua vida útil.

De acordo com a lei, cabe aos empreendedores, a responsabilidade de elaborar e implementar o Plano de Segurança da Barragem, utilizando metodologias e procedimentos tecnicamente adequados. Os empreendedores são os responsáveis pela implementação e manter a estrutura conforme as normativas da política nacional.

O Manual de Inspeção e Segurança de Barragens, elaborado pelo Ministério da Integração Nacional, tem como finalidade disponibilizar diretrizes práticas para a realização de inspeções em barragens. Ele visa identificar e documentar anomalias estruturais ou operacionais, propondo estratégias eficazes de manutenção para evitar riscos e promover a segurança. Além disso, o manual busca padronizar procedimentos por meio do desenvolvimento de uma metodologia específica para inspeções, garantindo maior consistência e confiabilidade na avaliação das condições das barragens.

No Brasil, a gestão da segurança de barragens foi estruturada de forma descentralizada, envolvendo órgãos fiscalizadores em níveis estadual e federal. Esses órgãos são responsáveis por manter o cadastro das barragens sob sua jurisdição, visando sua integração ao Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

O modelo institucional da Política Nacional de Segurança de Barragens atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a responsabilidade pela coordenação e elaboração anual do Relatório de Segurança de Barragens (RSB). Esse relatório é desenvolvido a partir da consolidação dos dados disponíveis no SNISB, complementados pelas informações fornecidas pelos órgãos fiscalizadores.

O Relatório de Segurança de Barragens (RSB) identifica as barragens prioritárias para a gestão da segurança, com base em uma avaliação estruturada em critérios padronizados para a gestão de riscos, conforme estabelecido pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Além disso, acidentes e incidentes são registrados em formulários com campos e terminologias uniformizadas, com o objetivo de possibilitar uma análise técnica abrangente das ocorrências sob diferentes perspectivas.

Anualmente, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) divulga esses relatórios, proporcionando à sociedade informações detalhadas sobre as condições dos barramentos avaliados e os possíveis danos associados a eles.

Adicionalmente, é imprescindível a elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE), um documento estratégico que define as ações a serem tomadas pelo responsável pela barragem em emergências. O PAE tem como finalidade garantir a execução ordenada das medidas de resposta, além de estabelecer claramente as atribuições e responsabilidades de todos os envolvidos no processo.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza teórico-prática, desenvolvida com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre as anomalias em barragens de terra e seus impactos na segurança estrutural. Além disso, busca identificar as principais características dessas estruturas e, com base em dados, classificá-las de acordo com sua categoria de risco e seu Dano Potencial Associado (DPA). Na etapa inicial, foi conduzida uma revisão bibliográfica, abrangendo estudos, publicações científicas e normativas relacionadas à segurança de barragens. O objetivo dessa revisão foi identificar e descrever os fatores que contribuem para o surgimento de anomalias, bem como aqueles que influenciam na classificação dos riscos e do Dano Potencial Associado. Além disso, buscou-se analisar de que forma as características estruturais das barragens podem impactar suas condições de segurança e integridade.

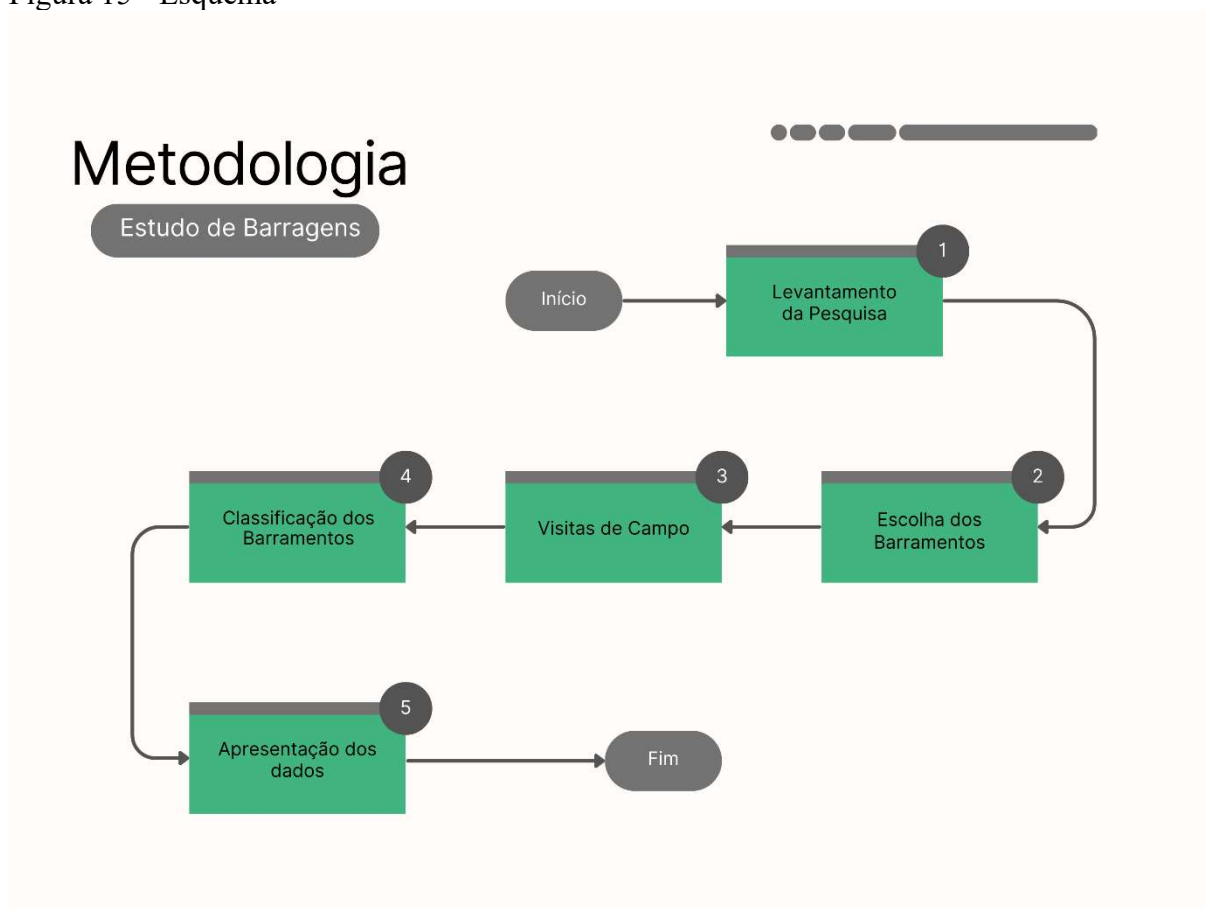
Na segunda etapa da pesquisa, procedeu-se à seleção dos barramentos a serem estudados. Essa escolha foi fundamentada em aspectos relevantes, como a importância estratégica dos barramentos para os municípios onde estão localizados e sua capacidade de armazenamento de água. Tendo em vista, que o presente trabalho realizou a análise de pequenos barramentos.

Na terceira etapa da pesquisa, foram realizadas visitas de campo aos barramentos selecionados, com o objetivo de analisar visualmente de forma detalhada dos elementos estruturais e funcionais que compõem as barragens. Durante essas inspeções, buscou-se identificar possíveis anomalias pré-existentes que pudessem comprometer a segurança e o desempenho das estruturas.

Na quarta etapa da pesquisa, procedeu-se à classificação detalhada dos barramentos com base nas informações coletadas nas etapas anteriores. Essa análise levou em conta tanto os dados obtidos durante as visitas de campo quanto os elementos identificados na revisão bibliográfica, permitindo uma avaliação do estado das estruturas, essa etapa também buscou verificar se os barramentos atendem aos requisitos mínimos de segurança estabelecidos pelas normativas vigentes.

O esquema apresentado na figura 15, demonstra como as etapas se interconectam, começando com a revisão bibliográfica, que fornece a base teórica, seguida pela seleção dos barramentos e pelas visitas de campo para coleta de dados empíricos. A etapa de classificação dos barramentos, por sua vez, utiliza as informações previamente obtidas para realizar análises mais detalhadas.

Figura 15 - Esquema



Fonte: Autoria própria, (2025).

Durante a etapa inicial do estudo, foi essencial realizar uma busca por autores e instituições que pudessem contribuir para uma melhor compreensão do tema da pesquisa.

Além disso, considerando que o Brasil possui legislações específicas e órgãos responsáveis por regulamentar as normativas relacionadas à construção, análise e segurança de barragens, a consulta a documentos oficiais tornou-se imprescindível. Em particular, os materiais disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) foram fundamentais para analisar as diretrizes e normas técnicas aplicáveis ao projeto em estudo.

Na segunda etapa do estudo, dedicada à seleção dos reservatórios a serem analisados, foi utilizada como principal referência a plataforma de dados disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Essa plataforma permitiu acessar informações detalhadas sobre os reservatórios registrados no estado do Rio Grande do Norte (RN).

Após essa análise, optou-se por focar nos reservatórios localizados nos municípios de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins. A escolha foi motivada pela localização estratégica

dessas cidades no interior do Oeste Potiguar. Além disso, esses reservatórios desempenham um papel fundamental no abastecimento de água e no desenvolvimento local, tornando essencial a avaliação de suas condições estruturais e de segurança.

A terceira etapa do estudo foi dedicada à realização de visitas de campo nos barramentos previamente selecionados. Durante essa fase, foram realizadas inspeções presenciais em cada um dos barramentos com o objetivo de avaliar as condições físicas das estruturas e identificar possíveis anomalias que poderiam comprometer sua integridade ou segurança.

Para garantir um registro eficiente e detalhado das condições dos barramentos, foram utilizados dois principais recursos: um telefone celular, para capturas fotográficas convencionais, e um drone modelo Phantom 4, disponibilizado pela instituição.

Para a realização do levantamento aerofotogramétrico com o drone, foi previamente elaborado um plano de voo específico para os barramentos, utilizando o software DroneDeploy. Essa ferramenta permite a definição precisa da área a ser mapeada, possibilitando o ajuste de parâmetros essenciais, como altitude, sobreposição de imagens, velocidade de voo e ângulo da câmera. Além disso, a configuração do drone no software garante a otimização da coleta de dados, assegurando maior precisão na obtenção das imagens e na análise posterior das estruturas dos barramentos.

O uso do drone foi particularmente relevante, pois possibilitou a realização de mapeamentos por aerofotogrametria, proporcionando imagens de alta resolução e uma visão ampla das estruturas e de seu entorno.

Na quarta etapa do estudo, foram realizados o processamento e a análise detalhada dos dados coletados nas fases anteriores. Essa etapa é fundamental para consolidar os resultados e aprofundar a compreensão das condições estruturais e funcionais dos barramentos analisados. Além disso, por meio dessa análise, torna-se possível classificar os barramentos conforme as normativas vigentes, garantindo uma avaliação criteriosa dos riscos e da segurança dessas estruturas.

O processamento será conduzido por meio do software Agisoft Metashape, que desempenha a função de processar imagens capturadas por drones. Inicialmente, o software realiza o alinhamento das fotografias, etapa fundamental para garantir a coesão entre os registros visuais. Em seguida, é necessário georreferenciar as imagens ao sistema de referência SIRGAS 2000, Zona 24S, correspondente ao DATUM da região de estudo. Após essa etapa, inicia-se o processo de modelagem das imagens para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE), que, posteriormente, servirá de base para a construção do ortomosaico da área em análise.

O processo de classificação das barragens é realizado com base em três critérios principais: a categoria de risco, o dano potencial associado e o volume da barragem, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A classificação inicial considera as características técnicas do barramento, seu estado de conservação e a existência de um plano de segurança. Cada um desses critérios recebe uma pontuação, de acordo com os parâmetros observados durante a avaliação, permitindo assim uma classificação precisa e adequada do barramento, de acordo com os níveis de risco e segurança identificados.

A classificação inicial baseia-se nas características técnicas do barramento, sendo complementada pelas condições especificadas na Tabela 1, apresentada a seguir.

Tabela 1 - Critérios de características técnicas

Características Técnicas (CT)					
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura $\leq$ 15m (0)	Comprimento $\leq$ 200m (2)	Concreto Convencional (1)	Rocha Sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra/ concreto ciclópico/ concreto rolado (CCR) (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (2)		Terra homogênea/ enrocamento/terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento/ rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60m (3)			Rocha alterada mole/ saprólito/ solo compactado (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)
			Solo residual/Aluvião (5)		

$$CT = \sum (a \text{ até } f)$$

Fonte: Adaptador CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II).

A próxima classificação baseia-se na Tabela 2, que apresenta as condições relacionadas ao estado de conservação do barramento. Essa tabela detalha os critérios utilizados para avaliar a integridade estrutural e funcional da barragem, fornecendo informações essenciais para determinar sua classificação de risco.

Tabela 2 - Estado de conservação

Estado de Conservação - EC					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Parâmetros (k)	Eclusa (l)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento/canais de aproximação ou de restituição ou vertedouros (tipo soleira livre) desobstruídos. (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento. (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem. (0)	Inexistente. (0)	Inexistente. (0)	Não possui eclusa. (0)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para operação/canais ou vertedouros (tipo soleira livre) com erosão ou obstruções, porém sem riscos a estruturas vertente. (4)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de vazão e com medidas corretivas em implantação. (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras estabilizadoras e/ou monitoradas. (3)	Existência de trincas e abatimento de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Falhas na proteção dos taludes e parâmetros, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando. (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras sem	Existência de trincas e abatimento de impacto considerável gerando	Erosões superficiais, ferrugem exposta, crescimento de vegetação	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos

s com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implementação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	redução de vazão e sem medidas corretivas. (6)	tratamento ou em fase de diagnóstico. (5)	necessidade de estudos adicionais ou monitoramento. (5)	generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva. (5)	eletromecânicas com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação. (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos Hidro eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas. (10)		Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carregamento de material ou com vazão crescente. (8)	Existência de trincas, abatimento ou escorregamento expressivo, com potencial de comprometimento da segurança. (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro eletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas. (4)

$$EC = \sum (g \text{ até } I)$$

Fonte: Adaptado CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II).

A próxima análise é realizada com base no Plano de Segurança da Barragem, conforme apresentado na Tabela 3. Essa tabela fornece uma visão detalhada dos critérios e indicadores relacionados à segurança operacional.

Tabela 3 - Plano de segurança de barragens

Plano de Segurança de Barragens - PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica e qualificação dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeções de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e “como construído”. (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem. (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento. (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre. (0)	Emite regularmente os relatórios. (0)
Projeto executivo ou “como construído”. (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem. (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção. (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade. (3)
Projeto básico. (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem. (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento. (5)		Não emite os relatórios. (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual. (6)		Não possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento. (6)		
Inexiste documentação do projeto. (8)				

$$PS = \sum (n \text{ até } r)$$

Fonte: Adaptado CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II).

O último critério para a análise da classificação do barramento é apresentado na tabela 4, que fornece uma visão detalhada sobre a avaliação do Dano Potencial Associado (DPA).

Essa tabela contempla os parâmetros essenciais para determinar as possíveis consequências decorrentes de um eventual rompimento do barramento.

A análise do DPA é de extrema importância, pois considera a gravidade dos efeitos a jusante em caso de falhas na estrutura, abrangendo tanto áreas urbanas quanto rurais. No âmbito socioeconômico, avaliam-se as perdas de infraestrutura, prejuízos econômicos para comunidades dependentes do barramento e interrupções em serviços essenciais. No que diz respeito à segurança humana, o critério examina o potencial de perda de vidas, sendo um dos fatores mais críticos para a classificação.

Tabela 4 - Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado

Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado – DPA (Acumulação de Água)			
Volume total do reservatório (a)	Potencial para perda de vidas humanas (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto Socioeconômico (d)
Pequeno ≤ 5 milhões m³. (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem). (0)	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais). (3)	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem). (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m³. (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentes a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local). (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica). (5)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação). (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m³. (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentes a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovias municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas).		ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação). (8)

	(8)		
Muito grande > 200 milhões m³. (5)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas). (12)		

$$DPA = \sum (a \text{ até } d)$$

Fonte: Adaptado CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II).

Com base nas pontuações, é possível classificar o barramento em estudo conforme a categoria de risco definida pela Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a presença do CRI, será o somatório de todas as pontuações do CT, EC e PS.

Tabela 5 - Categoria de Risco

Categoria de Risco	CRI
Alto	≥ 60 ou $EC \geq 8^*$
Médio	35 a 60
Baixo	≤ 35

Fonte: Adaptado CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II).

Para classificar o barramento quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), são usados os parâmetros definidos pelas normativas vigentes, que estão detalhadamente apresentados na tabela 4 e analisado o somatório da pontuação com a tabela 6 para realizar a classificação.

Tabela 6 - Dano potencial associado

Dano Potencial Associado	DPA
Alto	≥ 16
Médio	$10 < DPA < 16$
Baixo	≤ 10

Fonte: Adaptado CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II).

Com base nessas informações empíricas, somadas ao embasamento teórico proveniente da revisão bibliográfica e da consulta às normativas técnicas e documentos oficiais, foi possível estabelecer critérios objetivos para a análise de segurança. Esses critérios foram aplicados para classificar o grau de segurança de cada barramento, considerando fatores como estabilidade

estrutural, estado de conservação, presença de anomalias e conformidade com as regulamentações vigentes.

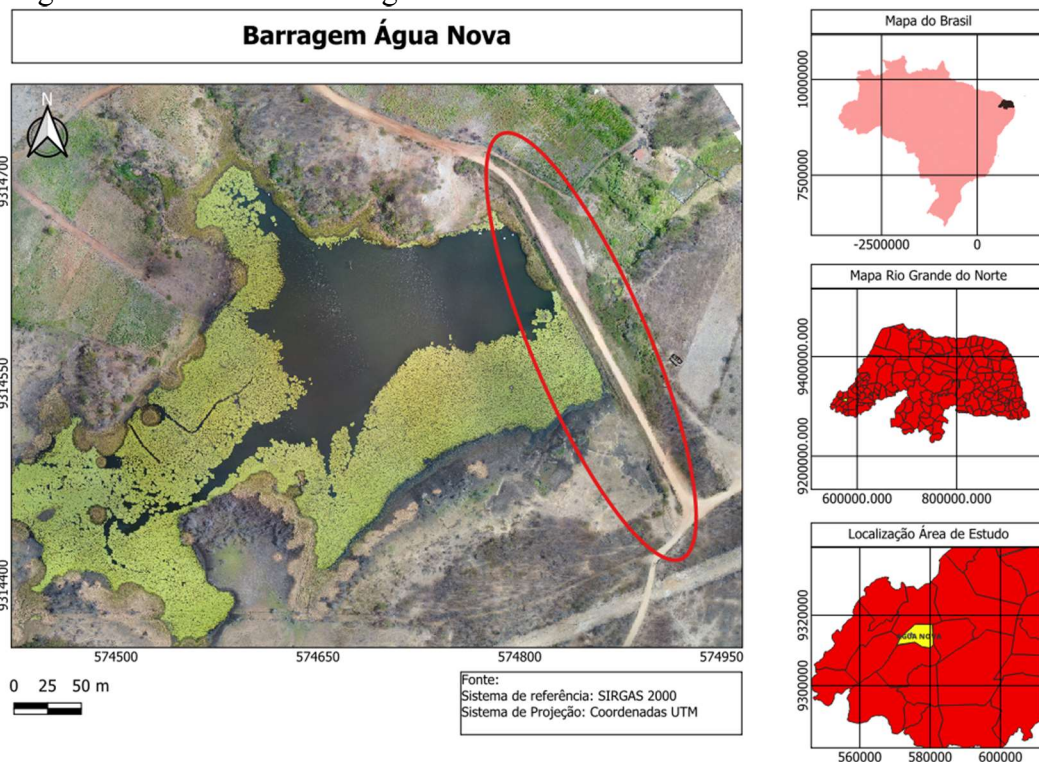
6 RESULTADOS E DISCURSÃO

6.1 Barragem de água nova

A área de estudo deste trabalho corresponde à barragem localizada no município de Água Nova, situado no interior do estado do Rio Grande do Norte. De acordo com os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui uma população de 2.946 habitantes, distribuída em uma área de 50,684 km², caracterizando uma baixa densidade populacional típica de pequenas cidades do interior nordestino. A barragem estudada encontra-se na zona rural do município, mais precisamente no sítio Nafuê, que desempenha um papel estratégico na região.

Essa barragem é de grande importância para o abastecimento de água local, influenciando diretamente as atividades agrícolas, pecuárias e de consumo humano, que são fundamentais para a subsistência e economia da comunidade. Assim, a escolha desse local como área de estudo é altamente relevante para contribuir com estratégias de gestão e manutenção que beneficiem diretamente a população e promovam a sustentabilidade hídrica da região.

Figura 16 - Barramento de Água Nova



Fonte: Autoria própria, (2025).

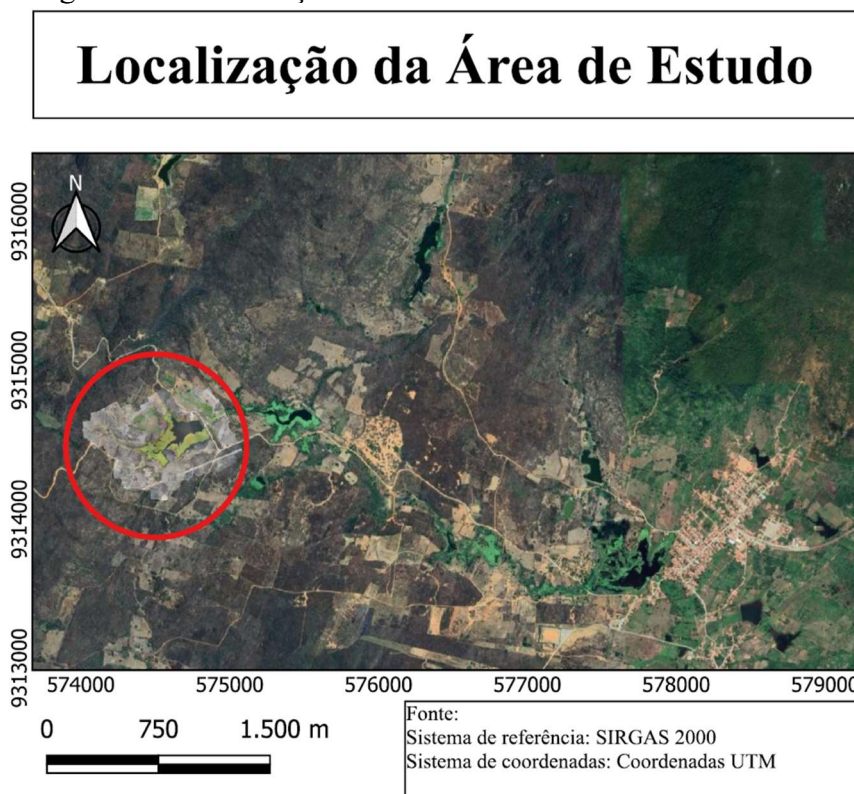
Nota: Imagem retirada de um drone

Essa barragem desempenha um papel essencial para a região, não apenas no contexto hídrico, mas também na mobilidade e integração das comunidades locais. A crista do barramento serve como uma via de acesso fundamental para a comunidade da Serra das Almas, também situada na zona rural de Água Nova, desempenhando um papel estratégico ao conectar os moradores e facilitar o deslocamento entre a zona rural e a zona urbana. Essa característica reforça sua importância, não apenas como uma infraestrutura para armazenamento de água, mas também como um elemento integrador da malha viária rural.

A figura 17 apresenta a localização geográfica da barragem, destacada na imagem com círculo em vermelho, em relação ao município de Água Nova. Essa representação evidencia a proximidade da barragem com a área urbana, reforçando sua relevância para a infraestrutura local. Situada a aproximadamente quatro quilômetros do perímetro urbano, o acesso à barragem é feito exclusivamente por uma estrada de terra, que também serve como conexão para outras comunidades rurais.

Essa configuração enfatiza a importância de manter a barragem em condições adequadas de operação e segurança, tanto para garantir sua funcionalidade como infraestrutura hídrica quanto para assegurar a mobilidade e o bem-estar das populações que dependem dela para deslocamentos e atividades diárias.

Figura 17 - Localização área de estudo



Fonte: Google earth, (2025).

O barramento em estudo é uma barragem de terra homogênea, cuja fundação é composta por um solo típico da região, caracterizado como silte arenoso. Em 2013, sua capacidade de armazenamento foi ampliada, alcançando um volume total de 892.572,50 m³ (Barbosa, 2018). Por meio do levantamento topográfico realizado na área, foi possível determinar que o comprimento do barramento é de 280 metros, enquanto a largura da crista mede 5 metros, possui também uma altura de 13 metros, esse parâmetro foi considerado como sendo a diferença entre a cota da crista e a cota do leito do rio do lado a jusante.

Antes dessa ampliação, o local era ocupado por um pequeno açude, cuja capacidade volumétrica não foi registrada. Durante o processo de ampliação, o material utilizado para a construção do barramento foi extraído de jazidas próximas ao local. Essa abordagem não apenas reduziu os custos e o tempo de execução, mas também contribuiu para a eficiência e sustentabilidade do processo construtivo, utilizando recursos disponíveis na própria região.

O barramento em análise possui os principais elementos necessários para sua funcionalidade, incluindo o talude de montante, o talude de jusante e a crista, conforme ilustrado na figura 18. Esses componentes desempenham papéis fundamentais na estabilidade e operação da barragem.

No entanto, foi constatada a ausência de um elemento essencial para a proteção contra processos erosivos no talude de montante: o revestimento conhecido como “*rip rap*”. Esse tipo de revestimento, geralmente composto por pedras ou materiais similares, é indispensável para mitigar os efeitos da erosão superficial causada pela ação de ventos, chuvas e o movimento da água no reservatório.

Figura 18 - Elementos do barramento

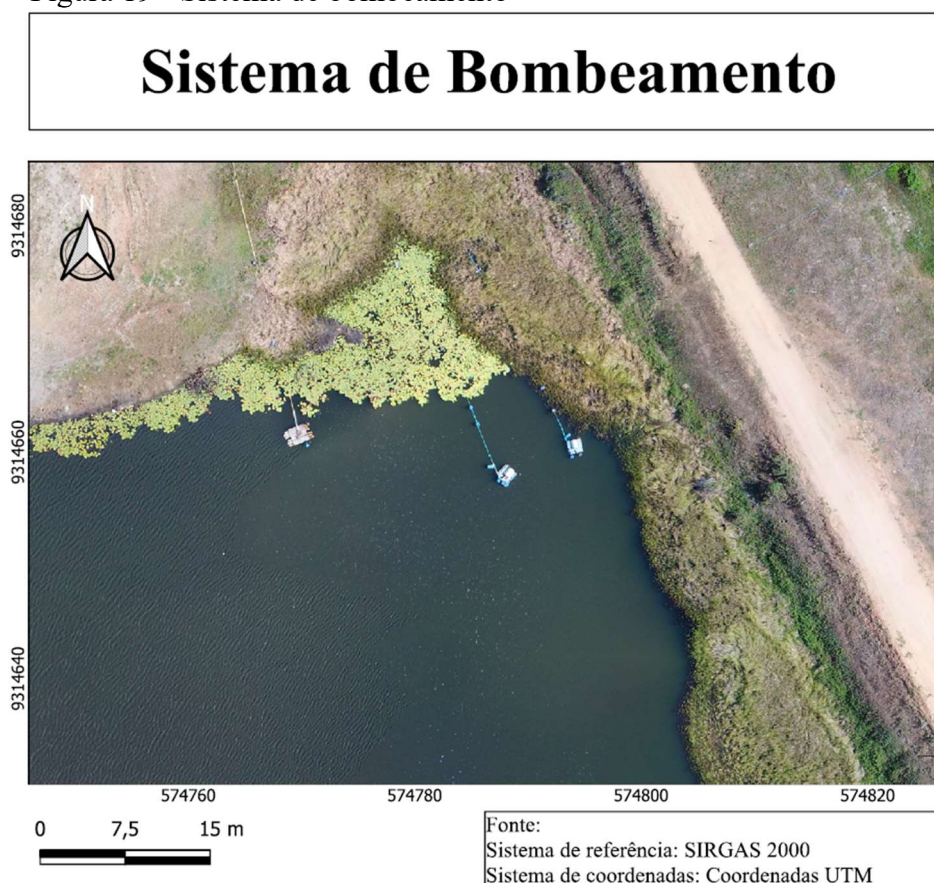


Fonte: Barbosa, (2018).

Outro elemento crucial que não foi identificado na barragem é a tomada de água, componente responsável pela liberação controlada da água do reservatório. A ausência desse sistema compromete o controle eficiente do nível da lâmina d'água, dificultando a liberação da água para os diversos usos necessários, como abastecimento e irrigação.

No entanto, foi observado no reservatório a presença de um sistema flutuante de bombeamento, conforme ilustrado na figura 19. Esse sistema é comumente utilizado em reservatórios com níveis de água muito baixos, permitindo o bombeamento da água armazenada para os fins desejados, mesmo quando o nível da água está abaixo da capacidade ideal de operação. Embora o sistema flutuante possa servir como uma solução temporária ou complementar, a implementação de uma tomada de água adequada seria essencial para garantir um controle mais eficiente e seguro do fluxo de água a longo prazo.

Figura 19 - Sistema de bombeamento



Fonte: Autoria própria, (2025).

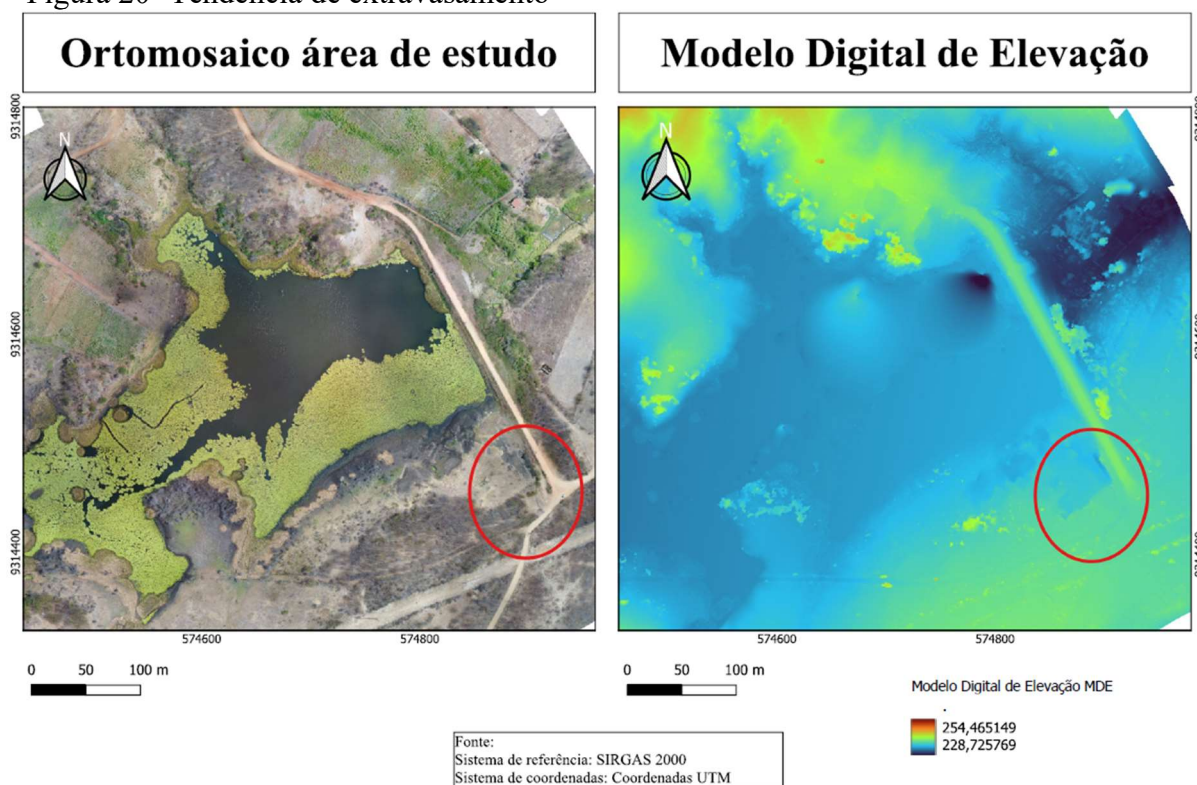
Nota: Imagem retirada de um drone

O barramento em questão não possui uma estrutura adequada para o extravasamento de água durante períodos de cheia, o que representa um risco significativo caso o reservatório atinja sua capacidade máxima. De acordo com o levantamento topográfico realizado na área de

estudo, é possível observar, conforme ilustrado pelo Modelo Digital de Elevação na figura 20, que o fluxo de água excedente tende a escoar lateralmente pelo maciço, facilitado pela topografia local.

Essa condição eleva o risco de processos erosivos nas ombreiras do barramento, que podem comprometer a sua integridade estrutural. O escoamento incontrolado pode gerar desgaste nas laterais do barramento, causando danos que, com o tempo, prejudicam sua estabilidade.

Figura 20 -Tendencia de extravasamento



Fonte: Autoria própria, (2025).

Nota: Imagem retirada de um drone

Na figura 21, é possível observar a área onde a topografia favorece o extravasamento de água, corroborando as análises realizadas com base nos dados processados. De acordo com relatos de moradores da região, a ausência de um extravasor adequado durante o período de chuvas, quando o reservatório atinge volumes elevados, faz com que a água extravase pelas laterais devido às condições topográficas. Esse fenômeno não apenas dificulta o acesso à área, mas também provoca o escoamento da água em direção à estrada de terra que conecta o barramento às comunidades próximas, impactando significativamente a mobilidade local e a segurança da infraestrutura.

Observa-se, também, que o barramento não possui sistemas de drenagem internos, evidenciado pela ausência de tubulações de coleta na base do barramento ao longo de toda a sua extensão. A falta desses elementos pode comprometer seriamente a integridade e a estabilidade da estrutura, uma vez que a drenagem interna desempenha um papel crucial na gestão do fluxo de água. Esses sistemas são responsáveis por direcionar adequadamente as linhas de fluxo, evitando a acumulação de água em pontos críticos que poderiam levar ao desenvolvimento de processos de erosão interna, como o piping.

Figura 21 - Área de extravasamento



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

6.1.1 Classificação da barragem

Para a classificação do barramento, foram adotados os parâmetros estabelecidos pelas normativas vigentes, conforme apresentados na Tabela 1. A avaliação foi realizada com base nos dados coletados por meio do levantamento aerofotogramétrico e nas inspeções visuais, garantindo que a classificação refletisse suas condições e características técnicas. Na Tabela 7, são detalhadas as pontuações atribuídas a cada critério de avaliação, permitindo uma análise clara e objetiva do enquadramento do barramento dentro dos requisitos normativos.

Tabela 7 - Pontuação das características técnicas

Características Técnicas						
	Altura	Comprimento	Tipo de barramento quanto ao material de construção	Tipo de fundação	Idade da barragem	Vazão de projeto
Pontuação	0	3	3	5	4	10
Somatório	25					

Fonte: Autoria própria, (2025).

A próxima etapa da classificação é baseada na Tabela 2, que apresenta as condições relacionadas ao estado de conservação do barramento. Essa tabela especifica os critérios utilizados para avaliar a integridade estrutural e funcional da barragem, fornecendo informações essenciais para sua classificação de risco. Na Tabela 8, estão detalhadas as pontuações atribuídas a cada condição observada no barramento, permitindo uma avaliação objetiva e fundamentada de sua situação atual.

Tabela 8 - Resultado estado de conservação

Estado de Conservação						
	Confiabilidade das estruturas extravasadoras	Confiabilidade das estruturas de adução	Percolação	Deformações e Recalques	Deformação dos taludes	Eclusa
Pontuação	7	6	5	1	5	0
Somatório	24					

Fonte: Autoria própria, (2025).

A próxima etapa da classificação foi realizada com base no Plano de Segurança da Barragem, conforme os critérios apresentados na Tabela 3. Essa tabela fornece uma visão detalhada dos indicadores relacionados à segurança operacional, permitindo uma análise estruturada do atendimento às normativas vigentes. A partir das condições descritas na Tabela 3, foi possível classificar o barramento quanto ao cumprimento dos requisitos estabelecidos no Plano de Segurança da Barragem, cujos resultados estão detalhados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado do plano de segurança de barragem

Plano de Segurança de Barragem					
	Existência de documentação o de projeto	Estrutura organizacional e qualificação técnica e qualificação dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitorament o	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Relatórios de inspeções de segurança com análise e interpretação

Pontuação	4	8	6	6	5
Somatório	29				

Fonte: Autoria própria, (2025).

O último critério utilizado na classificação do barramento é o Dano Potencial Associado (DPA), conforme apresentado na Tabela 4. Essa avaliação segue as exigências estabelecidas pelas normativas do Plano de Segurança de Barragens, permitindo a categorização da estrutura com base em critérios técnicos, operacionais e de conformidade. Os resultados dessa classificação estão detalhados na Tabela 10, evidenciando a adequação do barramento aos parâmetros exigidos para a avaliação de risco.

Tabela 10 - Resultado dano potencial associado

Classificação quanto ao Dano Potencial Associado				
	Volume total do reservatório	Potencial para perda de vidas humanas	Impacto Ambiental	Impacto Socioeconômico
Pontuação	1	12	3	4
Somatório	20			

Fonte: Autoria própria, (2025).

A partir da pontuação atribuída a cada critério utilizado na classificação do barramento, é necessário realizar o somatório total dos pontos de todas as classificações, como é apresentado na tabela 11. Esse cálculo permite determinar, a categoria de risco atribuída ao barramento em estudo.

Tabela 11 - Cálculo da categoria de risco

Critérios da barragem que afetam a possibilidade de um acidente	Pontos
Características técnicas	25
Estado de conservação	24
Plano de Segurança de Barragens	29
Pontuação Total	78

Fonte: Autoria própria, (2025).

Com base nessa pontuação, é possível classificar o barramento em estudo conforme a categoria de risco definida pela Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Dessa forma, conclui-se que o barramento localizado na cidade de Água Nova, no interior do Rio Grande do Norte, foi classificado como de alto risco, conforme os parâmetros da tabela 5, considerando os critérios técnicos, estruturais e operacionais estabelecidos pelas normativas vigentes. Essa classificação reflete a necessidade de atenção prioritária, uma vez que a condição atual do barramento pode apresentar riscos significativos à segurança da população e ao meio ambiente, caso não sejam implementadas medidas corretivas.

Diante dessa situação, é fundamental iniciar um processo de adequação para garantir que o barramento atenda plenamente às exigências normativas. Isso inclui a revisão e atualização de projetos técnicos, a realização de inspeções regulares, a implementação de melhorias estruturais e operacionais, bem como a elaboração e execução de um Plano de Segurança da Barragem (PSB), devido sua categoria de risco para um barramento de pequeno porte com altura inferior a 15 metros e capacidade inferior a 3 milhões de m³.

Conforme apresentado na Tabela 10, o Dano Potencial Associado (DPA) do barramento é avaliado com uma pontuação de 20 pontos. De acordo com os parâmetros normativos da Tabela 6, essa pontuação indica um dano potencial associado de nível alto. Combinado com a classificação de risco alto atribuída ao barramento, essa avaliação reforça a necessidade urgente de iniciar o processo de regularização. A implementação de medidas corretivas e de segurança é fundamental para mitigar os riscos e garantir a conformidade do barramento com as normativas vigentes, assegurando a proteção da população e do meio ambiente.

6.1.2 Anomalias

A presença de anomalias no barramento é outro aspecto fundamental a ser investigado nesta pesquisa, com o objetivo de garantir a segurança e a integridade estrutural da estrutura analisada. A identificação e avaliação detalhada dessas anomalias são essenciais para prevenir riscos e assegurar a funcionalidade e a estabilidade do barramento ao longo do tempo.

Conforme pode ser observado na figura 22, há um excesso de vegetação na parte inferior do talude a jusante. Embora a presença de vegetação rasteira nos taludes possa ser benéfica como medida de proteção contra a erosão, a presença de vegetação alta representa um fator de risco significativo. O crescimento excessivo dessas plantas pode comprometer a segurança e a estabilidade do barramento, já que as raízes das vegetações altas podem penetrar nas camadas do solo, causando danos estruturais, abrindo caminhos para infiltrações e aumentando a vulnerabilidade da estrutura.

Figura 22 - Presença de vegetação excessiva



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Na Figura 23, é possível observar a presença de água próxima à base inferior do talude a jusante, associada à vegetação presente na área, como ilustrado na mesma imagem. Essa surgência de água exige uma investigação detalhada no barramento, considerando a possibilidade de ocorrência de um processo de percolação, ou até mesmo de um fenômeno de “*piping*”.

Dessa forma, é indispensável solucionar essa questão com urgência, adotando medidas corretivas e a realização de inspeções técnicas regulares para monitorar a condição estrutural da barragem e se a lâmina de água presente perdura. Além disso, devem ser realizadas análises geotécnicas e hidrológicas para avaliar o impacto da surgência e garantir que a estabilidade e segurança do barramento não sejam comprometidas.

Figura 23 - Surgência de água no pé do barramento



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

6.2 Barragem angicos

Situada na mesorregião do Rio Grande do Norte, a barragem Angicos está localizada no município de José da Penha, que possui uma população de 5.964 habitantes, conforme o último censo do IBGE de 2024. O município abrange uma área territorial de 117,635 km². A barragem encontra-se a 4,5 km da zona urbana, entre os limites de José da Penha e Major Felipe, estando inserida na Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró. A Figura 24 ilustra a localização do barramento circulado em vermelho em relação ao centro da cidade de José da Penha.

Figura 24 - Localização barramento angicos



Fonte: Google earth, (2025).

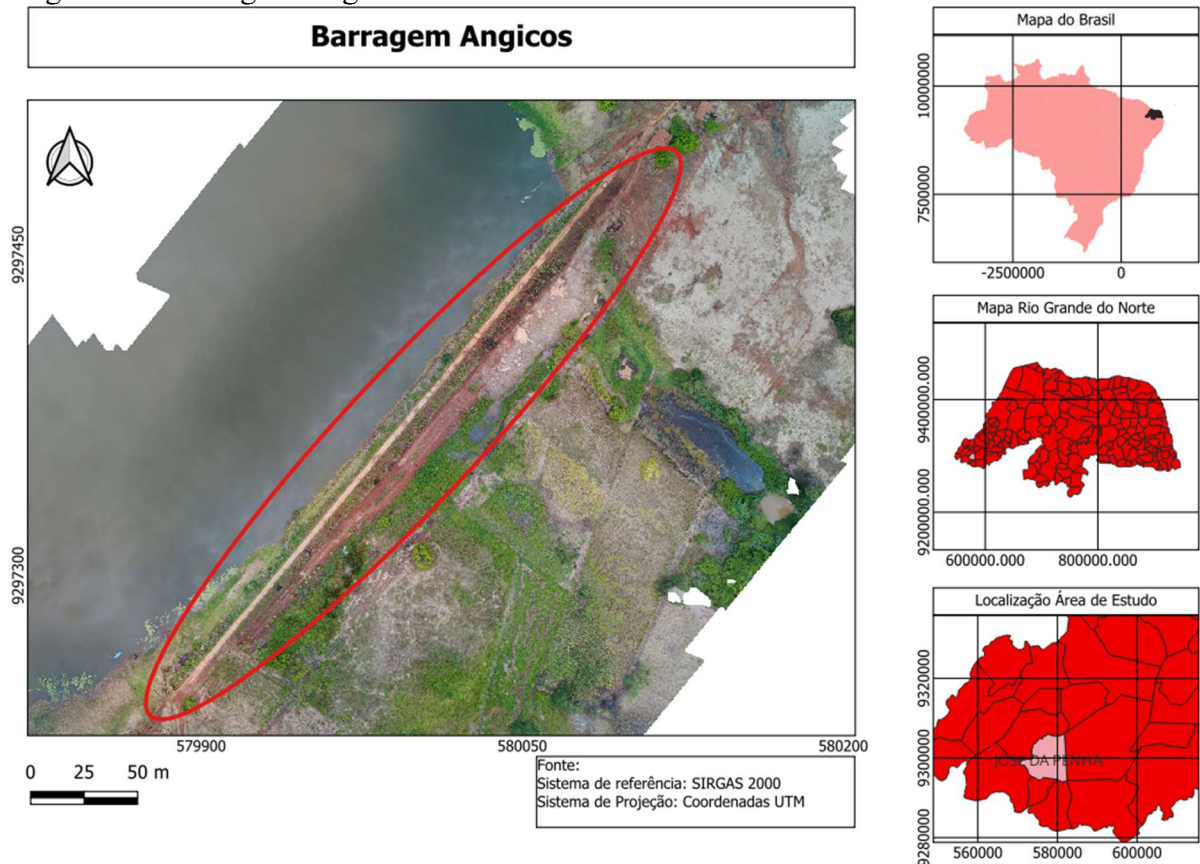
Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), a barragem apresenta uma capacidade de armazenamento de $4,29 \text{ hm}^3$. A partir do levantamento realizado, foi possível determinar que o barramento possui um comprimento de coroamento de 455 metros e uma altura de 9 metros, considerando a diferença entre a cota da crista e o leito do rio a jusante. A largura da crista é de 3,5 metros, conforme ilustrado na Figura 25.

Trata-se de um barramento de terra homogêneo, construído com solos característicos da região, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico local. Sua principal função é garantir o abastecimento da população e fornecer água para o perímetro irrigado da cidade, contribuindo para atividades agrícolas e outras demandas hídricas.

Além disso, a barragem será futuramente beneficiada pela chegada das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), por meio do Ramal do Apodi, o que poderá ampliar sua importância estratégica para a segurança hídrica da região.

De acordo com o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), a construção da barragem foi concluída em 1920. Sua bacia hidrográfica abrange uma área de $2.328.000,00 \text{ m}^2$.

Figura 25 - Barragem Angicos



Fonte: Autoria própria, (2025).

Nota: Imagem retirada de um drone.

Na análise do barramento, foram verificadas a presença de elementos estruturais, como os taludes de montante e jusante, além da crista. Elementos esses essenciais para garantir a estabilidade e a segurança da estrutura. A Figura 26 ilustra a presença desses elementos no barramento.

Figura 26 -Talude barramento José da Penha



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Além disso, foi analisada a presença de *rip rap* no barramento, levando em consideração a importância desse revestimento na proteção do talude de montante. Sua aplicação visa minimizar os impactos causados pela ação das águas, reduzindo processos erosivos e aumentando a estabilidade da estrutura.. Esse aspecto pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Proteção Talude de montante



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Outro elemento fundamental para garantir a segurança e a estabilidade do barramento são os vertedouros, cuja função é medir e/ou controlar a vazão em canais, evitando sobrecargas na estrutura. O barramento em questão possui um pequeno vertedouro, conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Vertedouro da Barragem Angicos



Fonte: Adaptado Barbosa, (2024).

Além dos demais elementos estruturais, foi identificada a presença de réguas de medição do nível da água, essenciais para o monitoramento contínuo do reservatório, como mostra a figura 29. Esses dispositivos permitem acompanhar variações no volume armazenado, auxiliando na gestão dos recursos hídricos e na prevenção de riscos associados a níveis extremos, como transbordamentos ou períodos de escassez.

Figura 29 - Régua medição de nível de água



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

6.2.1 Classificação da barragem

Para classificar a barragem angicos, foram considerados os mesmos parâmetros definidos pelas normativas, conforme exposto na Tabela 1. A análise foi conduzida a partir dos dados obtidos em campo, assegurando que a classificação representasse suas condições e especificidades técnicas. Na Tabela 12, estão descritas as pontuações correspondentes a cada critério de avaliação.

Tabela 12 - Pontuação das características técnicas barragem angicos

Características Técnicas						
	Altura	Comprimento	Tipo de barramento quanto ao material de construção	Tipo de fundação	Idade da barragem	Vazão de projeto
Pontuação	0	3	3	5	4	10
Somatório	25					

Fonte: Autoria própria, (2025).

Considerando a indisponibilidade de dados sobre o tipo de solo de fundação do barramento, adotou-se o valor máximo de pontuação como medida conservativa no processo de classificação, garantindo uma abordagem mais cautelosa na avaliação da estrutura.

A próxima fase da classificação mantém-se fundamentada na Tabela 2, que descreve as condições relativas ao estado de conservação do barramento. As pontuações atribuídas a cada condição observada estão detalhadas na Tabela 13, proporcionando uma avaliação objetiva e bem fundamentada da situação atual da estrutura.

Tabela 13 - Resultado estado de conservação barragem angicos

Estado de Conservação						
	Confiabilidade das estruturas extravasadoras	Confiabilidade das estruturas de adução	Percolação	Deformações e Recalques	Deformação dos taludes	Eclusa
Pontuação	4	6	5	1	5	0
Somatório	21					

Fonte: Autoria própria, (2025).

Para a classificação das estruturas de adução, adotou-se o valor máximo de pontuação, uma vez que o barramento não possui essas estruturas. Essa abordagem foi utilizada como medida conservativa, assegurando uma avaliação mais cautelosa no processo de classificação.

A próxima etapa da classificação foi conduzida com base na Tabela 3, que apresenta o Plano de Segurança da Barragem. A partir das condições descritas nessa tabela, foi possível avaliar o barramento quanto ao atendimento dos requisitos estabelecidos no plano, garantindo uma análise criteriosa. Os resultados dessa classificação estão detalhados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultado do plano de segurança de barragem do barramento angicos

Plano de Segurança de Barragem					
	Existência de documentação de projeto	Estrutura organizacional e qualificação técnica e qualificação dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Relatórios de inspeções de segurança com análise e interpretação
Pontuação	6	8	6	0	5
Somatório	25				

Fonte: Autoria própria, (2025).

O último critério de classificação do barramento é o Dano Potencial Associado (DPA), conforme a Tabela 4. Seguindo as normativas do Plano de Segurança de Barragens, essa avaliação considera critérios técnicos, operacionais e de conformidade. Os resultados estão detalhados na Tabela 15, demonstrando a adequação da estrutura aos parâmetros de risco.

Tabela 15 - Resultado dano potencial associada barragem angicos

Classificação quanto ao Dano Potencial Associado				
	Volume total do reservatório	Potencial para perda de vidas humanas	Impacto Ambiental	Impacto Socioeconômico
Pontuação	1	12	3	4
Somatório	20			

Fonte: Autoria própria, (2025).

Com base na pontuação atribuída a cada critério utilizado na classificação do barramento, foi realizado o somatório total dos pontos de todas as classificações, conforme apresentado na Tabela 16. Esse somatório é essencial para definir a categoria de risco da estrutura em análise, permitindo uma avaliação precisa de sua condição e do nível de atenção necessário para sua segurança e operação.

Tabela 16 - Cálculo da categoria de risco barragem angicos

Critérios da barragem que afetam a possibilidade de um acidente	Pontos
Características técnicas	25
Estado de conservação	27
Plano de Segurança de Barragens	25
Pontuação Total	77

Fonte: Autoria própria, (2025).

Com base na pontuação obtida, o barramento em estudo foi classificado conforme a categoria de risco definida pela Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Dessa forma, conclui-se que a Barragem Angicos, localizada no município de José da Penha, no interior do Rio Grande do Norte, foi enquadrada como de alto risco, de acordo com os parâmetros da Tabela 5.

Essa classificação evidencia a necessidade de atenção, pois a atual condição do barramento pode representar riscos significativos à segurança da população, caso medidas corretivas não sejam implementadas. Diante desse cenário, torna-se imprescindível iniciar um processo de adequação para garantir que a barragem atenda plenamente às exigências normativas, especialmente em virtude do aumento da capacidade de armazenamento de água com a chegada das águas do PISF. Para isso, é fundamental revisar e atualizar os projetos

técnicos, realizar inspeções periódicas, implementar melhorias estruturais e operacionais, além de desenvolver e executar um Plano de Segurança da Barragem (PSB).

Conforme indicado na Tabela 15, o Dano Potencial Associado (DPA) do barramento foi avaliado em 20 pontos. Segundo os critérios normativos estabelecidos na Tabela 6, essa pontuação classifica o DPA como alto. Quando combinada com a classificação de alto risco já atribuída ao barramento, essa avaliação reforça a necessidade de um processo de regularização.

6.2.2 Anomalias

Foi realizada uma avaliação para identificar possíveis anomalias no barramento que pudessem comprometer sua integridade e estabilidade. Nesse contexto, por meio de inspeções visuais, constatou-se a presença de vegetação excessiva ao longo de todo o comprimento dos taludes de montante e jusante, conforme ilustrado na Figura 29. O crescimento descontrolado dessa vegetação representa um fator de risco para a estrutura, pois as raízes das plantas podem criar caminhos preferenciais para a passagem de água, aumentando a permeabilidade do solo e possibilitando o surgimento do fenômeno de *piping*, que compromete a segurança do barramento.

Figura 30 - Presença de vegetação no barramento angicos



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Essa condição de vegetação excessiva nos taludes não é recente. Segundo a pesquisa de Barbosa (2024), essa anomalia já havia sido identificada no período de seu estudo, evidenciando que não há um processo contínuo e eficaz de manutenção preventiva. A ausência de intervenções adequadas para o controle da vegetação e a preservação das condições estruturais reforça a necessidade de implementação de um plano de gestão e manutenção regular, garantindo a segurança e a conformidade do barramento com as normativas vigentes.

A inspeção visual permitiu identificar também a presença de surgência de água na base do talude de jusante, acompanhada por um crescimento excessivo de vegetação, conforme ilustrado na Figura 30. Esse fenômeno leva a considerar que a infiltração de água possa estar diretamente relacionada à vegetação abundante na região, uma vez que as raízes das plantas podem comprometer a integridade da estrutura ao criar caminhos preferenciais para o fluxo de água. Esse processo pode aumentar a permeabilidade do solo e favorecer o surgimento de processos erosivos internos.

Figura 31 - Presença de água na base do talude de jusante barramento angicos



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Além disso, a pesquisa de Barbosa (2024) já havia identificado essa surgência de água na base do talude durante seu estudo, indicando que esse problema não é recente e vem se prolongando ao longo dos anos sem medidas corretivas adequadas. Essa persistência do fenômeno sugere a ausência de um programa eficaz de manutenção e monitoramento do barramento, o que representa um risco significativo à segurança estrutural. Caso a situação não

seja devidamente tratada, há potencial para o agravamento dos danos, aumentando a vulnerabilidade da estrutura e colocando em risco a vida dos residentes a jusante.

A inspeção visual também permitiu identificar o acúmulo de água ao longo da crista do barramento, conforme ilustrado na Figura 31, resultado do período chuvoso na região. Esse acúmulo se deve, principalmente, à ausência de manutenção adequada da estrutura, que compromete seu funcionamento eficiente no escoamento das águas pluviais.

Figura 32 - Presença de água na crista do barramento angicos



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Embora o barramento possua meios-fios e canaletas projetados para direcionar a água e evitar o acúmulo sobre a crista, a falta de manutenção levou ao desgaste e deterioração dessas estruturas. Como evidenciado na Figura 32, os danos estruturais impediram que os dispositivos de drenagem cumprissem sua função corretamente, favorecendo o acúmulo de água e aumentando o risco de infiltrações indesejadas.

Figura 33 - Estrutura de drenagem barramento angicos



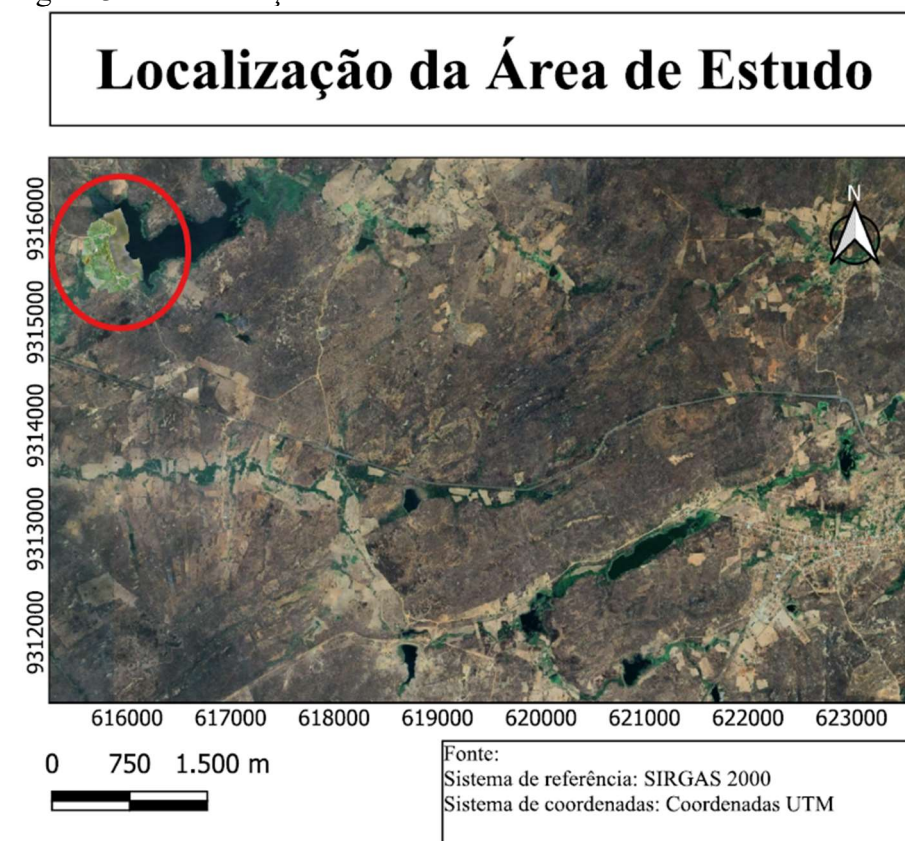
Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

A presença constante de água na crista pode comprometer a estabilidade da barragem, pois o excesso de umidade pode acelerar processos erosivos e reduzir a resistência do solo devido à quebra do grau de compactação, tornando a estrutura mais vulnerável a falhas.

6.3 Barragem corredor

Localizada na mesorregião do Rio Grande do Norte, a Barragem Corredora está situada no município de Antônio Martins, que possui uma população de 6.577 habitantes, segundo o último censo do IBGE (2022). O município ocupa uma área territorial de 244,897 km², e a barragem está a aproximadamente 11 km da zona urbana. A Figura 34 destaca a localização do barramento, circulado em vermelho, em relação ao centro da cidade de Antônio Martins.

Figura 34 - Localização barramento corredor



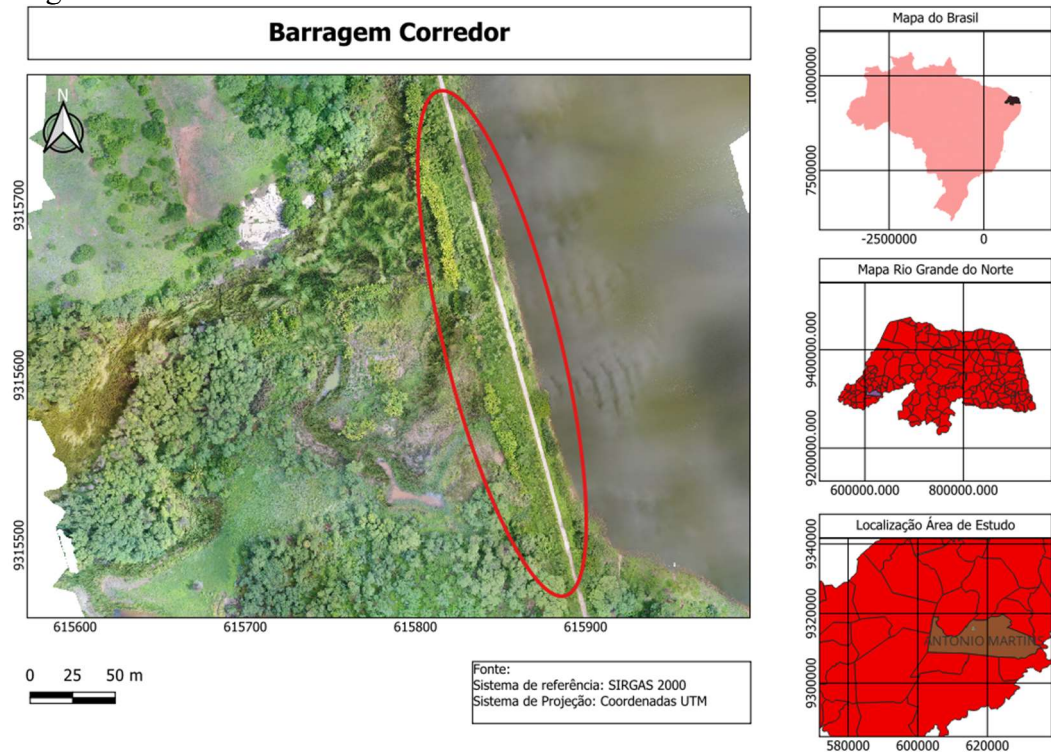
Fonte: Google earth, (2025).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), a Barragem Corredora possui uma capacidade de armazenamento de 4,643 hm³. As medições realizadas indicam que o barramento apresenta um comprimento de coroamento de 439 metros e uma altura de 8,70 metros, considerando a diferença entre a cota da crista e o leito do rio a jusante. Além disso, a largura da crista é de 3,8 metros, conforme ilustrado na Figura 35.

Trata-se de um barramento de terra homogêneo, construído com solos característicos da região. Sua estrutura desempenha um papel essencial no desenvolvimento socioeconômico local, sendo fundamental para o abastecimento da população e o fornecimento de água ao perímetro irrigado da cidade, contribuindo diretamente para as atividades agrícolas e outras demandas hídricas.

De acordo com o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), a construção da barragem foi concluída em 1914. Sua bacia hidrográfica abrange uma área de 1.109.700,00 m².

Figura 35 - Barramento corredor

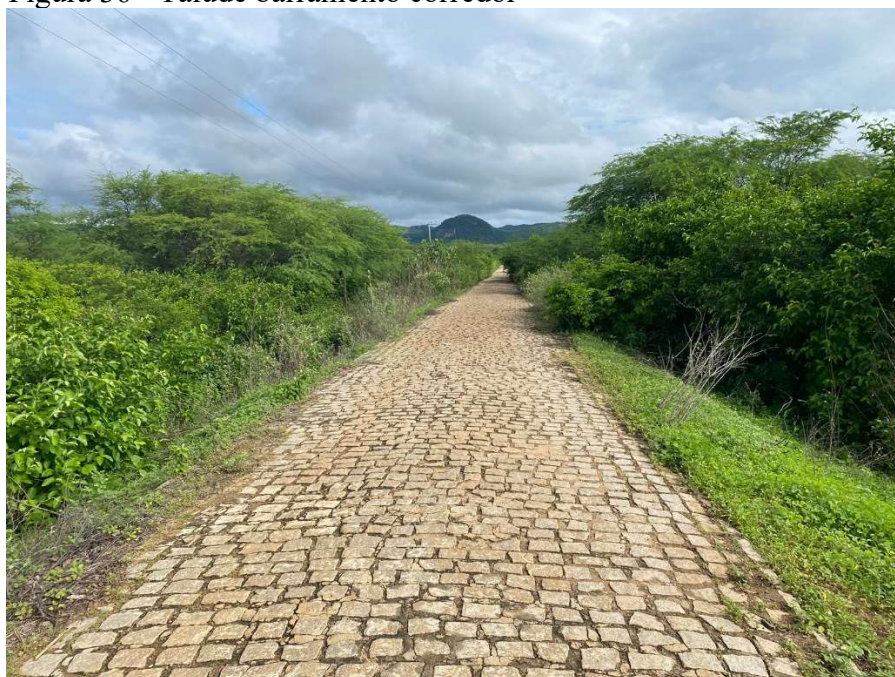


Fonte: Autoria própria, (2025).

Nota: Imagem retirada de um drone.

Durante a visita ao barramento, foi possível identificar elementos estruturais essenciais, como o talude de montante, o talude de jusante e a crista. Esses componentes desempenham um papel fundamental na estabilidade da estrutura. A Figura 36 ilustra esses elementos observados no local.

Figura 36 - Talude barramento corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Durante a visita ao barramento, foi possível identificar um instrumento de medição não observado em outros barramentos analisados: o marco topográfico, conforme ilustrado na Figura 37. Esse elemento desempenha um papel fundamental no monitoramento do comportamento estrutural da barragem, permitindo o acompanhamento de possíveis movimentações ou recalques ao longo do tempo. O uso do marco topográfico contribui para a segurança da estrutura, auxiliando na detecção precoce de anomalias.

Figura 37 - Marco topográfico barragem corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Durante a análise do barramento, observou-se a presença de pavimentação em paralelepípedo ao longo de toda a extensão da crista, conforme ilustrado na Figura 38. Esse revestimento não foi identificado nos demais barramentos analisados no estudo, tornando-se uma característica diferenciada desta estrutura.

A pavimentação da crista desempenha um papel fundamental na proteção do barramento contra processos erosivos, minimizando os impactos da ação do escoamento superficial das águas pluviais e do tráfego sobre a estrutura.

Figura 38 - Pavimentação paralelepípedo barramento corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Durante a visita ao barramento, foi possível identificar a presença de um vertedouro associado a uma passagem molhada, que desempenha um papel fundamental ao permitir o acesso de moradores da zona rural às suas residências. Essa configuração pode ser observada na Figura 39.

O vertedouro identificado apresenta um formato Creager, um modelo amplamente utilizado em projetos hidráulicos devido à sua eficiência na condução do escoamento superficial e na minimização de turbulências.

Figura 39 - Vertedouro barragem corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

6.3.1 Classificação da barragem

Para a classificação da Barragem Corredor, localizada no município de Antônio Martins, foram adotados os mesmos parâmetros estabelecidos pelas normativas aplicadas aos barramentos anteriormente analisados, conforme apresentado na Tabela 1. Já na Tabela 17, são detalhadas as pontuações atribuídas a cada critério de avaliação.

Tabela 17 - Pontuação das características técnicas barragem corredor

Características Técnicas						
	Altura	Comprimento	Tipo de barramento quanto ao material de construção	Tipo de fundação	Idade da barragem	Vazão de projeto
Pontuação	0	3	3	5	4	10
Somatório	25					

Fonte: Autoria própria, (2025).

Considerando a ausência de dados sobre o tipo de fundação do barramento, adotou-se o valor máximo de pontuação como medida conservativa no processo de classificação. Essa abordagem visa garantir a segurança do barragens.

A próxima etapa da classificação permanece baseada na Tabela 2, que apresenta as condições relacionadas ao estado de conservação do barramento. As pontuações correspondentes a cada condição observada estão detalhadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultado estado de conservação barragem corredor

Estado de Conservação						
	Confiabilidade das estruturas extravasadoras	Confiabilidade das estruturas de adução	Percolação	Deformações e Recalques	Deformação dos taludes	Eclusa
Pontuação	10	6	5	5	5	0
Somatório	31					

Fonte: Autoria própria, (2025).

Considerando que, durante a visita, não foi possível identificar a presença de vertedouro nem de estruturas de adução, adotaram-se os valores máximos nos parâmetros de confiabilidade dessas estruturas.

A próxima etapa da classificação foi realizada com base na Tabela 3, seguindo o mesmo procedimento adotado para os demais barramentos, considerando o Plano de Segurança da Barragem. A partir das condições estabelecidas nessa tabela, foi possível conduzir uma avaliação criteriosa do barramento. Os resultados dessa classificação estão detalhados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultado do plano de segurança de barragem do barramento corredor

Plano de Segurança de Barragem					
	Existência de documentação de projeto	Estrutura organizacional e qualificação técnica e qualificação dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Relatórios de inspeções de segurança com análise e interpretação
Pontuação	4	8	6	6	5
Somatório	29				

Fonte: Autoria própria, (2025).

O último critério de classificação do barramento é o Dano Potencial Associado (DPA), conforme a Tabela 4. Os resultados estão detalhados na Tabela 20, demonstrando a adequação da estrutura aos parâmetros de risco.

Tabela 20 - Resultado dano potencial associada barragem corredor

Classificação quanto ao Dano Potencial Associado				
	Volume total do reservatório	Potencial para perda de vidas humanas	Impacto Ambiental	Impacto Socioeconômico
Pontuação	1	12	3	4
Somatório	20			

Fonte: Autoria própria, (2025).

Com base na pontuação atribuída a cada critério utilizado na classificação do barramento, foi realizado o somatório total dos pontos de todas as classificações, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 21 - Cálculo da categoria de risco barragem corredor

Critérios da barragem que afetam a possibilidade de um acidente	Pontos
Características técnicas	25
Estado de conservação	31
Plano de Segurança de Barragens	29
Pontuação Total	85

Fonte: Autoria própria, (2025).

Com base na pontuação obtida, o barramento em estudo foi classificado conforme a categoria de risco estabelecida pela Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Dessa forma, conclui-se que a Barragem Corredor, localizada no município de Antônio Martins, no interior do Rio Grande do Norte, foi enquadrada como de alto risco, de acordo com os critérios definidos na Tabela 5.

Essa classificação ressalta a necessidade de atenção, uma vez que a atual condição do barramento pode representar riscos significativos à segurança da população caso medidas corretivas não sejam implementadas. Diante desse cenário, torna-se essencial adotar um plano de adequação que garanta a conformidade da estrutura com as exigências normativas e minimize potenciais impactos.

Além disso, conforme indicado na Tabela 20, o Dano Potencial Associado (DPA) do barramento foi avaliado em 20 pontos. Segundo os critérios normativos estabelecidos na Tabela 6, essa pontuação classifica o DPA como alto. Quando associada à classificação de alto risco já atribuída ao barramento, essa avaliação reforça a urgência de um processo de regularização, garantindo a segurança da estrutura e das áreas a jusante.

6.3.2 Anomalias

Durante a inspeção do barramento, foi possível constatar a presença de uma vegetação densa e extensa, cobrindo toda a estrutura, incluindo os taludes de montante e jusante, conforme ilustrado na Figura 40. A proliferação dessa vegetação atingiu um nível tão significativo que algumas árvores cresceram além dos limites da crista do barramento, invadindo áreas que deveriam estar livres de obstruções. Esse crescimento descontrolado compromete não apenas a acessibilidade para inspeções e manutenções periódicas, mas também pode representar um risco estrutural.

Figura 40 - Presença de vegetação no barramento do corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Durante a inspeção, constatou-se também que o talude de montante quanto o de jusante não possuem qualquer tipo de proteção contra erosão, conforme ilustrado na Figura 41. Além disso, observou-se que toda a superfície dos taludes está completamente coberta por vegetação densa, o que dificulta a avaliação visual e a detecção de possíveis processos erosivos. A ausência de revestimentos ou mecanismos de contenção adequados pode favorecer a degradação gradual do solo, especialmente em períodos de chuvas intensas, aumentando o risco de instabilidade da estrutura. A cobertura vegetal, embora possa fornecer certa proteção superficial contra a ação da água e do vento, pode também ocultar indícios de erosão.

Figura 41 - Cobertura dos taludes do barramento do corredor

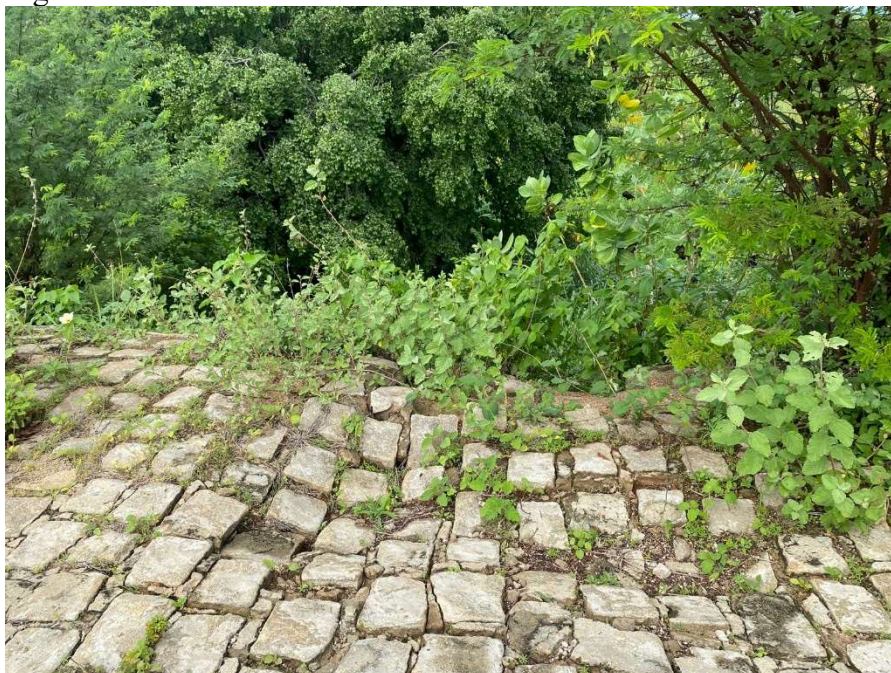


Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Durante a inspeção do barramento também, foi identificado um afundamento na crista em diversos trechos ao longo de seu comprimento, conforme ilustrado na Figura 42. Esse afundamento é evidente, pois causou danos visíveis à pavimentação em paralelepípedo, comprometendo a regularidade da superfície e, consequentemente, a acessibilidade e a segurança da estrutura.

Uma possível causa desse fenômeno é a ausência de um sistema eficiente de drenagem, como canaletas para a condução das águas pluviais. Durante os períodos chuvosos, a água tende a se acumular na crista do barramento, infiltrando-se no solo e promovendo o rebaixamento localizado da fundação. Esse acúmulo pode gerar processos erosivos internos, reduzindo a capacidade estrutural do barramento e favorecendo o surgimento de recalques diferenciais.

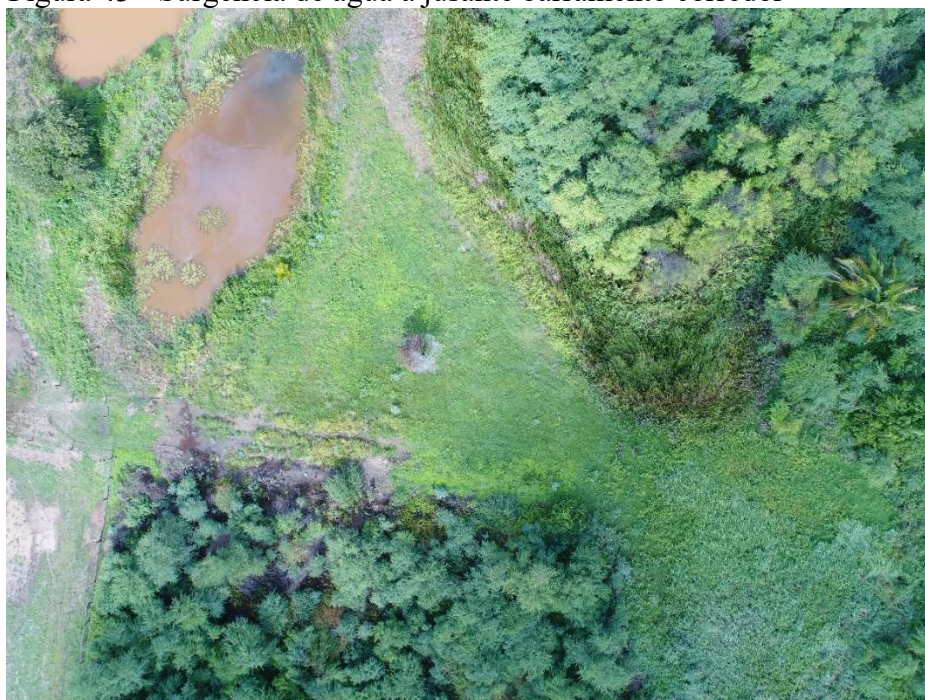
Figura 42- Afundamento da crista barramento corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

A análise das fotografias capturadas pelo drone permitiu identificar a presença de uma surgência de água a jusante do barramento, conforme ilustrado na Figura 43. Diante dessa observação, torna-se fundamental avaliar o comportamento dessa surgência ao longo do tempo, uma vez que sua intensificação pode comprometer a estabilidade estrutural do barramento.

Figura 43 - Surgência de água a jusante barramento corredor



Fonte: Arquivo pessoal, (2025).

Com base nas informações apresentadas, observa-se que os barramentos analisados possuem elementos essenciais para sua funcionalidade e estabilidade. No entanto, foram identificadas algumas anomalias que necessitam de uma análise detalhada e de medidas corretivas para assegurar tanto a integridade estrutural quanto o desempenho adequado dessas barragens. A identificação e o tratamento dessas anomalias são fundamentais para que os barramentos estejam em conformidade com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), garantindo a segurança operacional e minimizando riscos associados.

Na Tabela 22, é possível visualizar um resumo abrangente das informações coletadas durante a análise dos barramentos em estudo e de suas classificações. Essa tabela apresenta os elementos estruturais observados, as anomalias identificadas durante as inspeções, além da classificação da Categoria de Risco (CRI) e do Dano Potencial Associado (DPA), conforme estabelecido pelas normativas do Plano de Segurança de Barragens (PSB).

Tabela 22 - Resumo de resultados

Elementos Presentes						
	Talude (Montante e Jusante)	Crista	Rip Rap	Tomada d'água	Marco topográfico	Vertedouro
Barragem Água nova	X	X				
Barragem Angico	X	X	X			X
Barragem Corredor	X	X			X	X
Classificação da Barragem						
	Categoria de Risco			Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo
Barragem Água nova	X			X		
Barragem Angico	X			X		
Barragem Corredor	X			X		
Anomalias Presentes						
	Vegetação excessiva	Surgência de água a jusante	Afundamento crista	Acúmulo de água na crista		
Barragem Água nova	X	X				
Barragem Angico	X	X	X	X		
Barragem Corredor	X	X	X	X		

Fonte: Autoria própria, (2025).

Os resultados obtidos para os três barramentos demonstram que eles não estão em conformidade com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), o que exige medidas necessárias para evitar riscos estruturais e possíveis acidentes. Diante dessa situação, é fundamental que os órgãos fiscalizadores notifiquem os empreendedores responsáveis, solicitando as adequações necessárias. A falta de conformidade identificada neste estudo aponta para anomalias que podem se agravar ao longo do tempo, comprometendo a integridade das estruturas e colocando em risco a segurança da população a jusante.

A responsabilidade pela fiscalização e notificação dos empreendedores depende da dominialidade das barragens. No caso específico deste estudo, os barramentos estão situados no interior do estado do Rio Grande do Norte e são de responsabilidade do Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN). Dessa forma, cabe ao IGARN garantir que os responsáveis pelos barramentos cumpram as exigências estabelecidas pela PNSB, o que inclui a classificação do barramento, a elaboração do Plano de Segurança da Barragem (PSB), a realização de inspeções periódicas e monitoramento contínuo e, se necessário, a implementação de um Plano de Ação de Emergência (PAE).

A adoção dessas medidas é essencial para reduzir os riscos estruturais e garantir maior segurança para as comunidades que vivem próximas às barragens.

É evidente que o comportamento das anomalias identificadas nos três barramentos analisados no estudo apresenta padrões semelhantes, tanto em sua ocorrência quanto em sua evolução ao longo do tempo. Essa tendência pode ser observada na Tabela 23.

Tabela 23 Semelhança de anomalias nos barramentos

Semelhança de anomalias nos barramentos				
	Surgência de água a jusante	Vegetação excessiva	Afundamento da crista	Canaletas danificadas
Barragem Água nova	X	X	X	X
Barragem Angico	X	X	X	X
Barragem Corredor	X	X	X	X

Fonte: Autoria própria, (2025).

A semelhança observada nas anomalias pode ser atribuída ao fato de que todos os barramentos analisados são construídos em terra, um tipo de estrutura que apresenta características específicas de comportamento e degradação ao longo do tempo. Além disso, a ausência de manutenções periódicas contribui significativamente para o surgimento e

agravamento dessas anomalias, como a surgência de água a jusante, o crescimento excessivo de vegetação e outros fatores que comprometem a integridade estrutural dos barramentos.

Diante desse cenário, torna-se essencial ampliar a verificação desses comportamentos em outros barramentos de terra, a fim de identificar padrões recorrentes e antecipar possíveis falhas. A análise sistemática dessas estruturas pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento mais eficientes, permitindo a implementação de medidas preventivas que garantam maior segurança e durabilidade dessas obras.

7 CONCLUSÃO

Diante do exposto, fica evidente que a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) desempenha um papel essencial na regulamentação, fiscalização e monitoramento dos riscos associados aos barramentos. A importância dos recursos hídricos é inegável, especialmente no contexto das barragens Angicos, em José da Penha-RN, Água Nova, em Água Nova-RN, e Corredor, em Antônio Martins-RN, que desempenham funções fundamentais no abastecimento humano e na irrigação, garantindo o suprimento hídrico para a população local.

A análise dos resultados revelou-se satisfatória, pois permitiu caracterizar os barramentos, identificar anomalias por meio de inspeções visuais e classificá-los quanto aos níveis de risco e periculosidade. No entanto, algumas limitações foram constatadas. O modelo digital de elevação gerado para os barramentos não foi utilizado para estimar as áreas que poderiam ser impactadas em um possível rompimento, assim como não foi possível realizar investigações detalhadas do solo das barragens, procedimentos esses realizados pelo PSB. Essas limitações ocorreram devido à ausência de informações sobre os projetos junto aos órgãos responsáveis e à falta de materiais adequados para a execução dessas análises.

As condições estruturais dos barramentos analisados exigem atenção, uma vez que apresentam anomalias que comprometem sua estabilidade e segurança. A ausência de elementos essenciais para seu funcionamento adequado, aliada à sua classificação de alto risco e alto dano potencial associado, conforme os dados desta pesquisa, evidencia a necessidade de monitoramento contínuo e da adoção de medidas corretivas.

Diante dessa realidade, torna-se imprescindível aprimorar a gestão de riscos, implementando ações preventivas e corretivas que garantam a segurança dessas estruturas e minimizem possíveis impactos. Recomenda-se, para pesquisas futuras, a realização de estudos de *dambreak*, a fim de compreender o comportamento das águas em um eventual rompimento, e a investigação do subsolo dos barramentos por meio de técnicas como o *Standard Penetration Test* (SPT). Essas análises, amplamente utilizadas no Plano de Segurança de Barragens (PSB), possibilitam uma avaliação mais abrangente e aprofundada da estabilidade das estruturas, contribuindo para a segurança estrutural dos barramentos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Guia prático de pequenas barragens. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens. Volume VIII. Brasília, DF: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Relatório de Segurança de Barragens 2023. Brasília: ANA, 2023. 90 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 7 nov. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem. Brasília: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Volume III - Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem. Brasília: ANA, 2017.

BARBOSA, Samuel Martins. Análise das condições gerais da Barragem Angicos da cidade de José da Penha – RN. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, Pau dos Ferros, 2024.

BARBOSA, Sávio Felipe Pereira. Estudo técnico e ambiental de barragem de terra na zona rural de Água Nova/RN. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2018. Orientadora: Marília Cavalcanti Santiago. Coorientador: José Daniel Jales Silva.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148 p.

CARNEIRO, Agnaldo; SALGUEIRO, Camila; RODRIGUES, Arivânia; PEDROSA, Túlio; MATTOS, Rayane; LIMA, André. Avaliação de segurança de barragens de mineração: critérios e premissas com base nas legislações vigentes e na literatura científica. In: COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Foz do Iguaçu, PR, 28 e 29 de agosto de 2023.

CARVALHO, David de. Barragens: uma introdução para graduandos. Atualização: maio de 2011. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/barragem_terra_1.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

CARVALHO, Fernanda Alves. Avaliação de segurança em barragens de pequeno porte - Estudo de Caso da Barragem do Açude Grande. 2017. 55 f.

COSTA, Walter Duarte. Geologia de barragens. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.

CRUZ, Paulo Teixeira da. 100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. Acesso em: 14 nov. 2024.

FELL, Robin; MACGREGOR, Patrick; STAPLEDON, David; BELL, George; SANGESSON, Mark. Geotechnical engineering of dams. 2. ed. London: CRC Press, 2015. TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph B. Soil mechanics in engineering practice. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

FONSECA, Alessandra da Rocha. Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica - Estudo de caso das barragens da UHE São Simão. 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2003.

GAIOTO, Nélcio. Introdução ao projeto de barragens de terra e de enrocamento. São Carlos: EESC-USP, 2003. Acesso em: 12 nov. 2024.

MASSAD, Faïçal. Obras de terra. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MONTE, B. E. O.; TSCHADEL, A. DA F.; GOLDENFUM, J. A. Índice de risco aplicado a potencial rompimento de barragem por simulações 1D e 2D. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017.

SANDRONI, Sandro Salvador; GUIDICINI, Guido. Barragens de terra e enrocamento. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 11 nov. 2024.

SILVA, D. F.; ALMEIDA, A. L. U.; ANGELO, R. M. B.; DANTAS, S. C. Determinação da vazão em diferentes tipos de vertedores. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIT, 2016.

SILVEIRA, [Primeiro Nome]. Execução de um dreno de pé para contenção de surgência de água – Anomalia detectada em uma barragem de terra em Maiquinique - BA. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 15, n. 11, p. 71–94, 2020. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/execucao#elementor-toc_heading-anchor-27. Acesso em: 5 jan. 2025.

SOUZA, G. TIGRE. Dosagem experimental de concreto massa com adição de sílica ativa aplicado em barragem. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA), Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2017.

WISEU, M. T. O risco e as barragens. In: Riscos naturais, antrópicos e mistos: homenagem ao professor doutor Fernando Rebelo. Coimbra: Ed. Universidade de Coimbra, p. 425-440, 2013.