



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS SERRA TALHADA**

MONIKE MARQUES DE SOUZA

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGEM COM USO DE
DRONE: ESTUDO DE CASO NA BARRAGEM BREJINHO LOCALIZADA EM
TRIUNFO-PE**

SERRA TALHADA

2025

MONIKE MARQUES DE SOUZA

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGEM COM USO DE
DRONE: ESTUDO DE CASO NA BARRAGEM BREJINHO LOCALIZADA EM
TRIUNFO-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão
Pernambucano, campus Serra Talhada, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Ma. Rafaella Pereira
Marinho

Coorientador: Prof^ª. Ma. Laysa Cristina Arão
Costa

SERRA TALHADA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S719 Souza, Monike Marques de.

Análise de manifestações patológicas em barragem com uso de drone: estudo de caso na barragem brejinho localizada em Triunfo-PE / Monike Marques de Souza. - Serra Talhada, 2025.

86 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, 2025.

Orientação: Profª. Msc. Rafaella Pereira Marinho.

Coorientação: Msc. Laysa Cristina Arão Costa.

1. Engenharia civil. 2. Barragem de alvenaria de pedra. 3. Inspeção de barragens. 4. Inspeção com drone. 5. Manifestações patológicas. I. Título.

CDD 624

MONIKE MARQUES DE SOUZA

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGEM COM USO DE
DRONE: ESTUDO DE CASO NA BARRAGEM BREJINHO LOCALIZADA EM
TRIUNFO-PE.

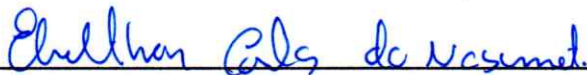
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do curso de
Bacharelado em Engenharia Civil do
Instituto Federal do Sertão Pernambucano,
Campus Serra Talhada, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em 12 de fevereiro de 2025.

Banca Examinadora



Profª. Ma. Rafaella Pereira Marinho
IFSertãoPE, Campus Serra Talhada



Prof. Me. Elivelthon Carlos do Nascimento
IFSertãoPE, Campus Serra Talhada



Prof. Me. Nílberte Muniz de Sousa
Escola Técnica Estadual Professora Célia Siqueira

Serra Talhada
2025

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sabedoria, força e proteção em cada etapa desta caminhada. Sem Sua presença constante, nada disso seria possível.

À minha orientadora, Prof^a. Ma. Rafaella Pereira Marinho, e à minha coorientadora, Prof^a. Ma. Laysa Cristina Arão Costa, minha profunda gratidão pela paciência, dedicação e pelo valioso apoio técnico e acadêmico que tornaram este trabalho possível.

Aos meus pais, Adjay e Marinalva, por serem minha base em todos os momentos, por acreditarem nos meus sonhos e por nunca medirem esforços para que eu chegasse até aqui. Aos meus irmãos, Mônica, Ana Beatriz e Ruan, pelo carinho e incentivo constantes, que sempre me deram forças para continuar.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos de dificuldades e de alegrias, compartilhando esta jornada única.

E, finalmente, a todo o corpo docente do Instituto Federal do Sertão Pernambucano – Campus Serra Talhada, pelo comprometimento em oferecer uma formação sólida e por serem uma fonte de inspiração ao longo do curso.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento.

“sim, ao único Deus sábio seja dada glória para
todo o sempre, por meio de Jesus Cristo.
Amém.”

Romanos 16:27

RESUMO

A manutenção e segurança de barragens são aspectos fundamentais para a preservação estrutural e a mitigação de riscos ambientais e sociais. Neste contexto, a aplicação de tecnologias avançadas tem se mostrado uma ferramenta eficiente para aprimorar os processos de inspeção e monitoramento. Este trabalho analisa as manifestações patológicas na Barragem Brejinho, localizada no município de Triunfo-PE, utilizando drones como recurso para inspeção. O estudo alia tecnologias modernas às metodologias tradicionais, permitindo identificar anomalias com maior precisão, segurança e eficiência. Foram realizadas inspeções em diferentes condições operacionais da barragem, possibilitando a coleta de dados detalhados e a geração de modelos tridimensionais da estrutura. As principais manifestações patológicas observadas incluem infiltrações, presença de vegetação e degradações no revestimento, para as quais foram propostas soluções corretivas baseadas nas diretrizes da ANA. A pesquisa reforça a importância do uso de drones como alternativa inovadora para otimizar inspeções, reduzir custos e aprimorar o monitoramento preventivo de barragens.

Palavras-chave: barragem de alvenaria de pedra; inspeção de barragens; inspeção com drone; manifestações patológicas.

ABSTRACT

The maintenance and safety of dams are fundamental aspects for structural preservation and the mitigation of environmental and social risks. In this context, the application of advanced technologies has proven to be an efficient tool to improve inspection and monitoring processes. This work analyzes the pathological manifestations in the Brejinho Dam, located in the municipality of Triunfo-PE, using drones as a resource for inspection. The study combines modern technologies with traditional methodologies, allowing the identification of anomalies with greater precision, safety and efficiency. Inspections were carried out in different operating conditions of the dam, enabling the collection of detailed data and the generation of three-dimensional models of the structure. The main pathological manifestations observed include infiltrations, presence of vegetation and degradation in the coating, for which corrective solutions were proposed based on ANA guidelines. The research reinforces the importance of using drones as an innovative alternative to optimize inspections, reduce costs and improve preventive monitoring of dams.

Keywords: stone masonry dam; dam inspection; drone inspection; pathological manifestations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista Geral de uma Barragem.....	18
Figura 2 - Ilustração de gráfico com classificação de barragens quanto ao uso.....	19
Figura 3 - Seção típica de barragem de aterro	21
Figura 4 - Perfil de barragem tipo gravidade.....	22
Figura 5 - Vegetação no paramento de jusante da barragem (a) e ninhos de concretagem (b)	27
Figura 6 - Manchas escuras que representam possível porosidade do concreto (a) e infiltrações nos degraus do vertedouro da barragem (b)	27
Figura 7 - Processo de <i>piping</i> em uma barragem de terra	28
Figura 8 - Erosões no talude (a), falta de proteção granular (b) e surgência identificada através de modelo tridimensional (c).....	28
Figura 9 - (a) marcador aplicado próximo a uma articulação; (b) aplicação de marcador na face a montante; (c) aplicação de marcador na face a jusante perto da base da fundação; (d) aplicação de marcador em uma área localizada no lado esquerdo	34
Figura 10 - Mavic 2 Enterprise Dual	35
Figura 11 - Fluxograma da Metodologia.....	37
Figura 12 - Localização da Barragem Brejinho.....	38
Figura 13 - Características da Barragem	39
Figura 14 - Fotografia do drone Mavic 2 Pro.....	40
Figura 15 - Fotografia do drone Mavic AIR 2S	40
Figura 16 - Trajetórias para coleta de imagens Drone Deploy.....	44
Figura 17 - Fluxo de trabalho padrão para geração de modelos tridimensionais	45
Figura 18 - Disposição e a perspectiva de captura das fotografias – Mapeamento 09/12/23....	47
Figura 19 - Disposição e a perspectiva de captura das fotografias – Mapeamento 29/06/24....	47
Figura 20 - Paramento de Montante - Fissuras horizontais e manchas (a) e pontos de elevada porosidade ou desagregação da argamassa (b)	50
Figura 21 - Vista do coroamento da barragem observada da lateral esquerda na inspeção 2 ..	51
Figura 22 - Vista geral do coroamento, ausência de dispositivos de segurança na inspeção 2	52
Figura 23 - Vista do coroamento da barragem observada da lateral direita na inspeção 3	52
Figura 24 - Vista geral do coroamento na inspeção 3	53
Figura 25 - Marcos - lateral esquerda do coroamento	53

Figura 26 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral direita - Visita 02	54
Figura 27 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral esquerda - Visita 02	54
Figura 28 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral direita - Visita 03	55
Figura 29 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral esquerda - Visita 03	55
Figura 30 - Paramento de Jusante - Lateral Esquerda - Desplacamento da argamassa de revestimento - Imagem obtida com uso de drone.....	56
Figura 31 - Drenos obstruídos - Lateral direita – Imagem obtida com uso de drone.....	57
Figura 32 - Condições do sangradouro - Visita 02 - Presença de densa vegetação no barramento	58
Figura 33 - Sangradouro - Foto obtida com drone – Visita 03.....	58
Figura 34 - Condições do sangradouro - Visita 03.....	59
Figura 35 - Réguas danificadas	59
Figura 36 - Novas construções dentro da área de preservação permanente da barragem	60
Figura 37 – Reservatório – Foto obtida com drone	60
Figura 38 - Densa vegetação região a jusante da barragem – Foto registrada com drone	61
Figura 39 - Medida do coroamento - Mapeamento 09/12/23.....	62
Figura 40- Medida do coroamento - Mapeamento 29/06/24.....	62
Figura 41 - Ortomosaico - Mapeamento realizado em 09/12/2023.....	63
Figura 42 - Ortomosaico - Mapeamento realizado em 29/06/2024.....	63
Figura 43 - Google Earth em 09/10/2024.....	64
Figura 44 - Paramento de montante - Mapeamento 09/12/23	65
Figura 45 - Vista geral da crista da barragem - mapeamento 29/06/24.....	65
Figura 46 - Vista geral do paramento de jusante - Mapeamento 09/12/23.....	66
Figura 47 - Vista geral do paramento de jusante - Mapeamento 29/06/24.....	66
Figura 48 - Área para remoção de vegetação do sangradouro	67
Figura 49 - Vista geral da região a jusante	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo de barragens cadastradas no SNISB e seu tipo de material empregado...	20
Quadro 2 - Classificação das Barragens quanto ao comportamento	23
Quadro 3 - Principais manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Terra	30
Quadro 3 - Principais manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Terra - Continuação	31
Quadro 4 -Principais manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Concreto	32
Quadro 5 – Manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Concreto	33
Quadro 6 - Características da Barragem Brejinho	39
Quadro 7 – Especificações técnicas dos drones utilizados nesta pesquisa.....	41
Quadro 8 - Características do mapeamento	43
Quadro 9 - Parâmetros de processamento para geração do modelo tridimensional – Mapeamento 09/12/2023	46
Quadro 10 -Parâmetros de processamento para geração do modelo tridimensional – Mapeamento 29/06/2024	46
Quadro 11 - Características da visita.....	50
Quadro 12 - Quantitativo de materiais crista.....	66
Quadro 13 - Resumo de manifestações patológicas identificadas.....	72

LISTA DE ABREVIACÕES SIGLAS E SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ASDSO	Association of State Dam Safety Officials - EUA
AUVs	Veículo Subaquático Autônomo
CCR	Concreto Compactado a Rolo
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DEM	Modelo Digital de Elevação
DJI	Da-Jiang Innovations
DPA	Dano Potencial Associado
GLONASS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
HDR	High Dynamic Range
ID	Identificação

KML	Keyhole Markup Language
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PAE	Plano de Ação de Emergência
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragem
RAA	Reação Álcali-Agregado
RETA	Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo
RGB	Red Green Blue
SARPAS	Sistema de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves não Tripuladas
SARPs	Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados
SISANT	Sistema de Aeronaves não Tripuladas
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
VLOS	Visual Line of Sight

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1.	Objetivos.....	17
1.1.1.	Objetivo geral	17
1.1.2.	Objetivo específicos.....	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1.	Contextualização sobre barragens	18-20
2.1.1.	Barragem de terra	20-21
2.1.2.	Barragem de alvenaria	21-23
2.2.	Segurança de barragens	23
2.2.1.	PNSP – Política nacional de segurança de barragens	23-24
2.2.2.	Ficha de inspeção.....	24-25
2.2.3.	Inspeção de segurança de barragens	25-26
2.3.	Principais manifestações patológicas em barragens.....	26-28
2.3.1.	Manifestações patológicas em barragens de alvenaria de pedra.....	29
2.4.	Soluções corretivas para manifestações patológicas em barragens	29-33
2.5.	Sistemas aéreos remotamente pilotados.....	33-35
2.5.1.	Uso de drones para inspeção de barragens	35-36
3.	PROCEDIMENTOS E MÉTODOS.....	37
3.1.	Caracterização da barragem	37-40
3.2.	Caracterização do drone utilizado	40-41
3.3.	Inspeções <i>in loco</i> realizadas	41-42
3.4.	Procedimentos para coleta de imagens com drone	42-44
3.5.	Preenchimento da ficha de inspeção	44-45
3.6.	Geração de modelos tridimensionais	45-47
3.7.	Análise de dados e identificação de manifestações patológicas com sugestões de correções.....	47-48
4.	RESULTADOS.....	49
4.1.	Identificação de manifestações patológicas através da ficha de inspeção -inspeção visual	49-61

4.2.	Análise e identificação das manifestações patológicas através do modelo tridimensional	61-68
4.3.	Soluções propostas para tratamento das manifestações patológicas	68-72
5.	CONCLUSÃO.....	73
5.1.	Conclusão	73-74
5.2.	Sugestões para trabalhos	74-75
	REFERÊNCIAS.....	76-78
	ANEXO A – FICHA DE INSPEÇÃO.....	79-86

1. INTRODUÇÃO

As barragens são obras de engenharia que interagem de maneira significativa com o ambiente natural, tendo como principal função o armazenamento de grandes volumes de água ou outros fluidos. Muitas dessas estruturas são de grande porte e fazem parte de projetos de infraestrutura essenciais para o desenvolvimento. Contudo, é inevitável que essas construções envolvam riscos que, se não gerenciados adequadamente, podem afetar a segurança da população, danificar bens materiais, prejudicar a economia e causar danos ao meio ambiente (ANA, 2016a).

No Brasil, a segurança de barragens tem se tornado uma questão de extrema urgência, especialmente após os trágicos desastres das barragens de Mariana (MG), em 2015, e Brumadinho (MG), em 2019. Esses eventos resultaram na perda de 289 vidas e afetaram diretamente mais de 463 mil pessoas, destacando a necessidade urgente de medidas mais rigorosas para garantir a integridade dessas estruturas e prevenir futuras catástrofes (ANA, 2016a; Brasil, 2019).

Na maioria dos casos, a implementação de um programa de segurança para barragens, que contemple inspeções regulares das condições das estruturas, manutenção preventiva contínua e a correção de anomalias detectadas, é fundamental para assegurar que a barragem se mantenha em condições ideais de operação e segurança (DSS, 2016).

De acordo com a legislação brasileira, o empreendedor da barragem é legalmente responsável pela sua segurança, assumindo a responsabilidade por quaisquer acidentes ou danos resultantes de falhas na estrutura. Essa responsabilidade inclui a adoção de medidas preventivas e corretivas para garantir a integridade da barragem e minimizar os riscos associados (ANA, 2016a).

Um dos principais desafios está na escassez de equipes técnicas especializadas para realizar as inspeções necessárias. Isso pode ser comprovado pelos dados presentes nos relatórios do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), nos quais, no relatório de segurança de barragens de 2023, das 25.943 barragens registradas no sistema, apenas 279 foram inspecionadas no ano de 2023. Além disso, 24.614 barragens não possuem informações atualizadas sobre a data da última inspeção realizada.

Khaloo *et al.* (2018) apontam que o uso de equipamentos de acesso, como rapel, plataformas de altura e outros dispositivos de segurança, pode tornar a tarefa do inspetor mais

difícil, especialmente no que diz respeito a fazer anotações, registrar imagens e obter uma visão geral da barragem, que é essencial para orientar o mapeamento das anomalias identificadas. Buffi *et al.* (2017) reconhecem a importância de integrar abordagens inovadoras de inspeção de estruturas com os métodos tradicionais. Eles defendem que essa combinação é fundamental para equilibrar a gestão da segurança das barragens, ao mesmo tempo em que contribui para a redução dos custos de manutenção, que estão diretamente relacionados à vida útil das estruturas.

Este estudo propõe uma abordagem inovadora para a realização de inspeções em barragens, destacando que a integração da tecnologia com metodologias tradicionais pode oferecer resultados significativos, como maior segurança, redução de custos e maior agilidade nas inspeções e na coleta de dados. Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), como os drones, emergem como ferramentas valiosas nesse contexto, simplificando o processo de inspeção e garantindo a segurança dos profissionais envolvidos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Identificar manifestações patológicas em barragem de alvenaria de pedra, com uso de drone, sugerindo possíveis ações de mitigação e reparos.

1.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Realizar inspeções visuais para preenchimento de Ficha de Inspeção de Segurança Regular de Barragem – Modelo ANA.
- Obter dados da barragem de alvenaria de pedra por meio de voos planejados com drone para a geração de modelos tridimensionais.
- Consolidar a identificação das manifestações patológicas da barragem e suas respectivas magnitudes confrontando dados de ficha de inspeção de segurança regular de barragem e dos modelos tridimensionais.
- Recomendar possíveis metodologias para mitigação e reparos dessas manifestações patológicas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma contextualização sobre o tema abordado, seguida por uma análise das normativas de segurança aplicáveis às barragens brasileiras. Além de destacar as principais manifestações patológicas que podem ser identificadas, e descrever os requisitos operacionais de drones utilizados para inspeções.

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE BARRAGENS

As barragens são estruturas essenciais para a gestão de recursos hídricos, usadas em funções como armazenamento de água, controle de cheias, irrigação, abastecimento humano, geração de energia e contenção de rejeitos. Sua construção envolve desafios técnicos significativos devido ao potencial impacto ambiental, social e econômico (ANA, 2016a).

São estruturas complexas, compostas por diversos elementos, como fundação, taludes, crista, dispositivos de descarga (vertedouros, tomada d'água), além de outros componentes associados a estrutura e ao barramento das barragens (Gorkos, 2022). A Figura 01 apresenta uma vista geral de uma barragem.

Figura 1 - Vista Geral de uma Barragem



Fonte: ANA, 2016a.

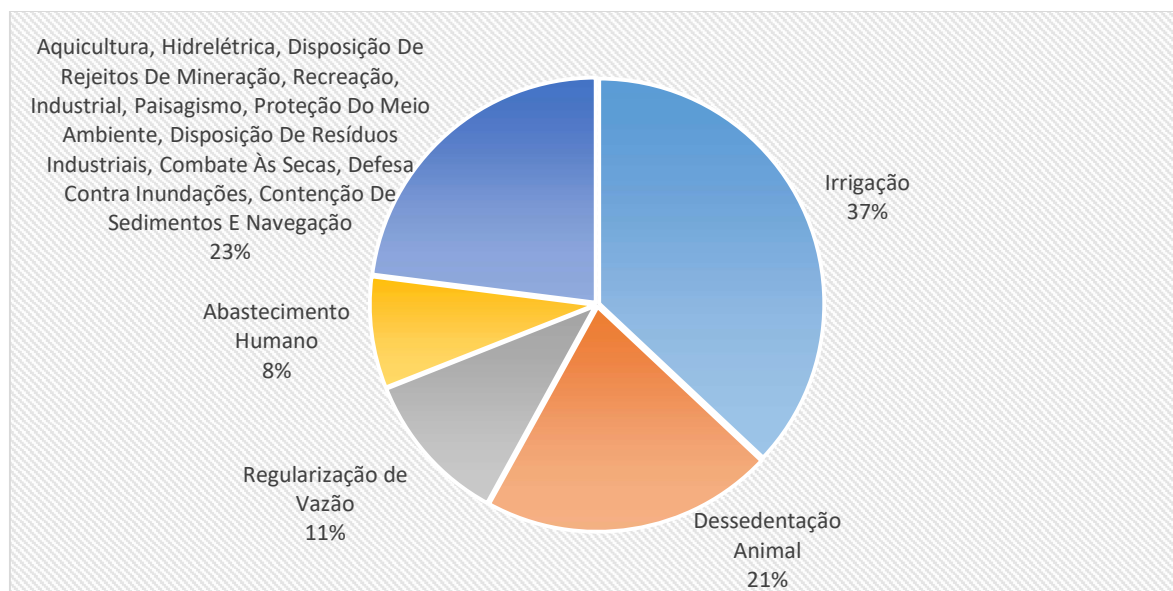
De acordo com a ANA (2017), uma barragem é definida como uma estrutura que obstrui cursos d'água permanentes ou temporários para reter líquidos ou misturas de líquidos e sólidos, incluindo o barramento e suas estruturas associadas.

As barragens são estruturas construídas transversalmente a rios ou talvegues, com o objetivo principal de represar e elevar o nível da água, formando um reservatório. Desde as

primeiras civilizações, as barragens desempenham um papel essencial no desenvolvimento humano, sendo construídas, inicialmente, para suprir a necessidade de armazenamento de água em períodos de escassez, utilizando métodos baseados em práticas empíricas (Souza, 2013).

As barragens podem ser classificadas de acordo com o uso e podem ser classificadas quanto ao tipo de material empregado no maciço. O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), têm um total de 25.943 barragens cadastradas no Brasil apresentadas no relatório de 2023. De acordo com a classificação quanto ao uso pode-se destacar 9.615 barragens destinadas a irrigação, representando 37%, 5.433 destinadas a dessedentação animal, representando 21%, 2.846 destinadas a regularização de vazão, representando 11%, 2.017 destinadas a abastecimento humano, representando 8%, as outras 6.032 barragens cadastradas representam 23% e são destinadas a aquicultura, hidrelétrica, disposição de rejeitos de mineração, recreação, industrial, paisagismo, proteção do meio ambiente, disposição de resíduos industriais, combate às secas, defesa contra inundações, contenção de sedimentos e navegação (ANA,2024). A Figura 2 ilustra um gráfico com os dados da classificação quanto ao uso. Quanto ao tipo de material empregado temos: barragem de terra, enrocamento, alvenaria, concreto ciclópico, CCR – concreto compactado a rolo, rejeitos.

Figura 2 - Ilustração de gráfico com classificação de barragens quanto ao uso



Fonte: Autora.

Em observação aos materiais empregados e seu uso as barragens apresentam necessidade de inspeções e acompanhemos regulares a fim de observar e efetuar manutenções

preventivas tornando-as assim mais seguras. A segurança dessas estruturas depende de um planejamento adequado, inspeções regulares e manutenção contínua ao longo de sua vida útil (ANA, 2016a).

Entre as recomendações para aprimorar a segurança das barragens, destacam-se a criação de guias orientativos para manutenções e inspeções, além do estabelecimento de sistemas de credenciamento de profissionais qualificados para atestar a segurança das estruturas (ANA, 2024).

2.1.1. BARRAGEM DE TERRA

Os barramentos de aterro são os mais comuns e utilizam materiais como solo natural, rochas ou resíduos gerados no local de construção. Esses tipos de barragens garantem resistência à pressão da água por meio do peso do maciço, contando com um núcleo de materiais impermeáveis que previnem a percolação através do material granular (ASDSO, 2021).

De acordo com relatório atual do SNISB, no Brasil temos um total de 7.538 barragens de terra e mais 435 barragens de terra-enrocamento, número expressivo quando comparado com outros materiais de construção empregados no maciço. O Quadro 1 apresenta um resumo com a quantidade de barragem e o tipo de material empregado no seu barramento.

Quadro 1 - Resumo de barragens cadastradas no SNISB e seu tipo de material empregado

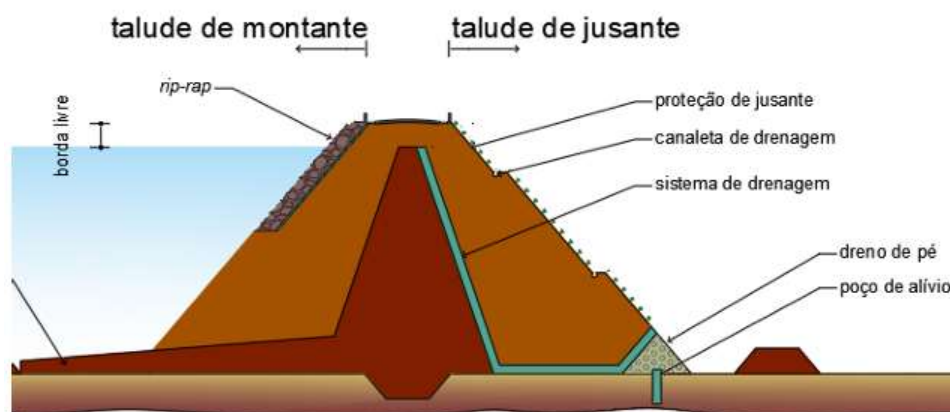
TIPO DE MATERIAL	Quant. (Un)
Alvenaria	198
Concreto ciclópico	91
Concreto compactado a rolo (CCR)	113
Concreto convencional	774
Enrocamento	109
Rejeitos	100
Terra	7.538
Terra-Enrocamento	435
Sem informação	18.736
TOTAL DE BARRAGENS CADASTRADAS - ATUALIZADO EM 08/01/2025	28.094

Fonte: Autora, adaptado dos dados do relatório SNISB, 2025.

As barragens de terra são estruturas construídas predominantemente com materiais terrosos compactados em camadas, sendo projetadas para resistir à pressão hidráulica por meio da sua massa e estabilidade do talude. Suas principais características incluem a necessidade de

um núcleo impermeável, geralmente feito de argila, para minimizar a percolação, e sistemas de drenagem adequados, como filtros e drenos, para controlar o fluxo de água (ANA, 2016a). A Figura 3 apresenta uma seção típica de uma barragem de aterro com seus principais elementos.

Figura 3 - Seção típica de barragem de aterro



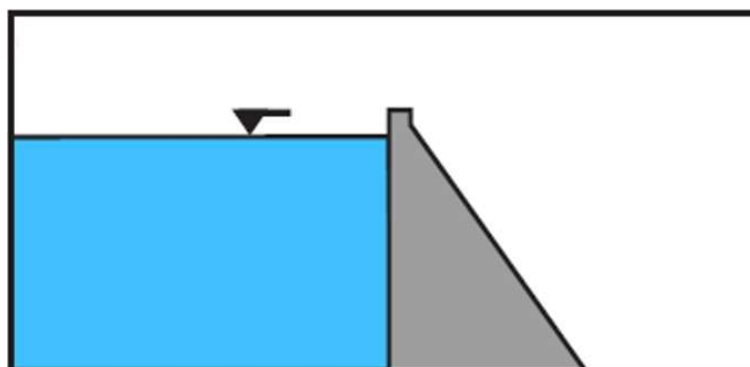
Fonte: Gorkos, 2022.

A construção de barragens de terra exige uma quantidade significativa de materiais, incluindo solo argiloso para o núcleo, além de materiais para espaldares, filtros e drenos. Por isso, é fundamental avaliar a disponibilidade de recursos adequados nas proximidades do local da obra. Essas barragens podem ser classificadas como homogêneas, utilizando apenas solo argiloso, ou zoneadas, que apresentam diferentes tipos de solo ou variações no mesmo material, compactados sob condições distintas. Essa abordagem permite otimizar a seção transversal da barragem, considerando também as condições locais e a disponibilidade de materiais (Souza, 2013).

2.1.2. BARRAGEM DE ALVENARIA

As barragens de alvenaria de pedra, em sua maioria, são projetadas como estruturas do tipo gravidade, com perfis analisados a partir de modelos estruturais planos que consideram os cenários mais críticos para a avaliação do seu comportamento e segurança. Estas barragens frequentemente apresentam uma planta reta ou com ligeira curvatura voltada para jusante, sendo que, em alguns casos, especialmente em vales mais amplos, a planta pode ser poligonal. O centro de curvatura, quando presente, é geralmente localizado a jusante da estrutura (Fernandes, 2016; Carrega, 2018). A Figura 4 apresenta o perfil de uma barragem do tipo gravidade.

Figura 4 - Perfil de barragem tipo gravidade



Fonte: Coura, 2019.

Os barramentos de barragens de alvenaria são construídos com blocos de pedra unidos por argamassa, formando uma estrutura monolítica capaz de suportar pressões hidráulicas significativas. Embora apresentem boa durabilidade quando mantidas adequadamente, as barragens de alvenaria de pedra estão sujeitas a diversos problemas, como degradação das juntas de argamassa, recalques diferenciais e infiltrações nas interfaces com a fundação ou as ombreiras. A presença de vegetação e erosões superficiais pode agravar essas questões estruturais, exigindo monitoramento constante para garantir a integridade da barragem (ANA, 2016a). De acordo com dados do SNISB, atualmente, o Brasil conta com 198 barragens de alvenaria cadastradas.

Uma das barragens mais antigas registradas no mundo data de 3000 a.C. e está localizada em Wadi el-Garawi, no Egito, cerca de 32 km ao sul do Cairo. Com uma altura de 11 metros e comprimento de 107 metros, a estrutura era composta por duas paredes de alvenaria de pedra, com um núcleo de cascalho e solo, alcançando uma largura de 84 metros na base e 64 metros no topo. Após sua construção, a barragem sofreu uma rotura parcial devido ao galgamento, causado pela incapacidade do descarregador de cheias de lidar com os altos volumes de água provenientes das chuvas intensas da bacia do rio Nilo (Jansen, 1983).

As barragens podem ser classificadas quanto ao seu comportamento em dois tipos principais: rígidas e flexíveis. As barragens rígidas podem ser parcialmente ou totalmente construídas em alvenaria de pedra e incluem variantes como gravidade, gravidade aliviada ou contraforte. De maneira geral, a classificação das barragens leva em consideração seu comportamento, o tipo de projeto e os materiais utilizados, resultando em diferentes categorias

de construção (Lima, 2022). O Quadro 2 apresenta a classificação das Barragens quanto ao comportamento.

Quadro 2 - Classificação das Barragens quanto ao comportamento

COMPORTAMENTO	PROJETO	MATERIAIS UTILIZADOS
Rígida	Gravidade	Concreto Simples, Concreto Ciclópico, <u>Alvenaria de Pedra</u> , CCR
	Gravidade Aliviada	<u>Alvenaria de Pedra</u> , Concreto Simples, Concreto Ciclópico
	Casca/Abobada/Arco	Concreto
	Contraforte	<u>Alvenaria de Pedra</u> , Concreto Simples, Concreto Ciclópico
Intermediária (Semi Rígida)	Gravidade	Gabião (Núcleo Argiloso, Geomembrana)
Flexível	Terra (Homogênea, Zoneada, Enrocamento)	Solos e Enrocamento

Fonte: Lima, 2022.

2.2. SEGURANÇA DE BARRAGENS

Os órgãos federais fiscalizadores de segurança de barragens, se resumem a 03, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e a Agência Nacional de Mineração – ANM. No âmbito estadual da região em que se encontra a pesquisa temos como órgão fiscalizador estadual a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC que é responsável por 458 barragens, sendo 357 classificadas quanto ao enquadramento à PNSB (ANA, 2024).

2.2.1. PNSB – POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 143 de 10 de julho de 2012, classifica as barragens de acúmulo de água com base em três parâmetros principais: a Categoria de Risco, a Categoria de Dano Potencial Associado e o volume do reservatório. Essa classificação segue critérios que determinam os níveis de risco e dano potencial, os quais são essenciais para definir as medidas de segurança e monitoramento adequadas para cada barragem (Brasil, 2012; ANA, 2016).

No Brasil a Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Essa política tem como objetivo assegurar que os empreendedores sigam padrões rigorosos de segurança, incluindo inspeções regulares e

monitoramento contínuo, de modo a reduzir o risco de acidentes e mitigar seus impactos. A lei também estabelece requisitos para avaliação e fiscalização pelo poder público. Ela se aplica a barragens que atendam a critérios específicos, como altura do maciço superior a 15 metros, capacidade de armazenamento acima de 3.000.000 m³, resíduos perigosos no reservatório, ou categorias de dano potencial associado e risco classificadas como médio ou alto (Brasil, 2010).

O Plano de Segurança da Barragem (PSB) é um documento oficial que estabelece ações para manter a integridade estrutural da barragem, além de definir medidas preventivas e emergenciais para garantir sua segurança operacional (ANA, 2016). A implementação adequada das medidas de segurança em barragens reduz significativamente a probabilidade de acidentes, devendo ser complementada por ações de defesa civil para minimizar possíveis impactos negativos.

O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) tem como principal objetivo consolidar o cadastro das barragens no Brasil, promovendo transparência e permitindo o acompanhamento da implementação dos dispositivos previstos na Política Nacional de Segurança de Barragens. No entanto, uma parte significativa das barragens cadastradas ainda carece de informações suficientes para uma verificação adequada em relação ao seu enquadramento na referida política. Embora a responsabilidade pela segurança das barragens recaia sobre os empreendedores, os órgãos fiscalizadores desempenham um papel fundamental ao estabelecer estratégias de fiscalização, promover a articulação entre os diversos envolvidos e realizar campanhas periódicas de inspeção (ANA, 2024).

O Plano de Ação de Emergência (PAE) tem como objetivo identificar possíveis situações de risco, estabelecer protocolos de comunicação, definir ações corretivas e garantir mecanismos eficazes de alerta às comunidades potencialmente afetadas (ANA, 2016). Esse está inserido no PSB e se faz crucial para as barragens classificadas e enquadradas no PNSB.

A definição das barragens prioritárias para gestão deve estar alinhada com os critérios estabelecidos pela Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010, que prioriza ações baseadas em gestão de risco para prevenir desastres (ANA, 2024).

2.2.2. FICHA DE INSPEÇÃO

O preenchimento da ficha de inspeção deve ser realizado por profissionais capacitados, registrando todas as partes da barragem, como estruturas principais e auxiliares, com detalhamento das anomalias encontradas, sua localização e magnitude. Fotografias e medições

complementares podem ser utilizadas para documentar adequadamente as condições identificadas durante a inspeção (ANA, 2016a).

Diversos órgãos e guias normativos recomendam a realização de inspeções com o auxílio de fichas de inspeção, geralmente organizadas como *check-lists*, que abrangem todas as partes da barragem, suas estruturas associadas, equipamentos e o funcionamento destes. As fichas são compostas por tabelas subdivididas em subseções que contemplam o barramento, as estruturas associadas e o reservatório, além das condições operacionais. Essas tabelas incluem *check-lists* de itens que devem ser observados no campo, os quais são classificados quanto à situação, magnitude e nível de perigo (Gorkos, 2022).

A ficha de inspeção deve conter informações essenciais, como a identificação da barragem, descrição das anomalias observadas, magnitude e nível de perigo associado, além de dados sobre o estado de conservação de estruturas, equipamentos hidromecânicos e as condições do reservatório (ANA, 2016a).

2.2.3. INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

As inspeções de segurança de barragens devem ser cuidadosamente planejadas, com análise prévia de documentos técnicos, identificação dos recursos necessários e elaboração de um roteiro detalhado. Durante a inspeção, é crucial percorrer todas as áreas da barragem, incluindo taludes, crista, ombreiras e estruturas auxiliares, documentando anomalias de forma visual e fotográfica. Além disso, é importante classificar a magnitude e o nível de risco das anomalias encontradas, bem como verificar a funcionalidade dos sistemas hidromecânicos e elétricos. A capacitação técnica dos inspetores é essencial para garantir avaliações precisas e eficazes (ANA, 2016a).

As inspeções de barragens exigem uma análise minuciosa da estrutura e seus subsistemas, utilizando equipamentos especializados, o que eleva os custos e impõe riscos à segurança dos inspetores. Embora o registro visual, como fotos e vídeos, seja utilizado, ele apresenta limitações devido à falta de contexto espacial, o que dificulta a análise e interpretação eficiente dos dados pelos engenheiros (Khaloo *et al.*, 2018).

O uso de drones nas inspeções de barragens tem se mostrado eficiente, como evidenciado em uma pesquisa baseada na análise de duas inspeções de barragens, uma de terra e uma de concreto. A tecnologia demonstrou sua eficácia na identificação de anomalias estruturais por meio de imagens detalhadas e produtos gerados a partir do mapeamento e

processamento dos dados. Além de facilitar o acesso a áreas críticas, os drones otimizam o tempo das inspeções, permitem análises multidisciplinares e garantem o registro preciso das informações, consolidando-se como uma ferramenta prática e segura para o monitoramento e manutenção dessas estruturas (Gorkos, 2022).

No caso das barragens de alvenaria de pedra argamassada, a inspeção deve focar especialmente na integridade das juntas de argamassa, identificação de fissuras, falhas estruturais, sinais de infiltrações, recalques diferenciais e degradações superficiais. A atenção deve ser redobrada nas áreas de transição, como nas interfaces com ombreiras e outras estruturas auxiliares, onde os problemas costumam se manifestar com maior frequência (ANA, 2016a).

2.3. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGENS

De acordo com a Resolução nº 236, manifestações patológicas em barragens são definidas como quaisquer condições ou alterações, sejam deficiências, irregularidades, deformações ou anormalidades, que possam comprometer a segurança estrutural da barragem. Esses elementos demandam atenção especial para evitar riscos maiores à integridade da estrutura e ao entorno (ANA, 2017).

As principais anomalias em barragens incluem fissuras, recalques localizados, instabilidade de taludes, erosão superficial, surgências de água e presença de vegetação ou tocas de animais. Esses problemas podem comprometer a segurança estrutural e funcional das barragens. Fissuras transversais e longitudinais, por exemplo, podem indicar recalques diferenciais ou instabilidades do maciço. Já as surgências podem levar a processos de erosão interna (*piping*), enquanto a erosão superficial e a má proteção dos taludes frequentemente resultam de falta de manutenção adequada. A presença de vegetação e tocas de animais pode criar caminhos de percolação indesejados, agravando os riscos de rupturas (ANA, 2016a).

Em uma barragem de concreto é possível identificar diversos tipos de manifestações patológicas, a exemplo da Barragem Pau Ferro localizada no município de Quipapá-PE, onde através de inspeção técnica visual foram observadas manifestações patológicas como o crescimento de vegetação densa de pequeno e médio porte no paramento de jusante da barragem, nas ombreiras e degraus. No paramento de montante foi observado a presença de manchas claras e escuras que indicam uma possível porosidade no concreto podendo causar infiltrações. As galerias apresentaram diversos pontos de infiltração, presença ativa de fluxo de

água, eflorescência e formação de estalactites nas paredes e teto da galeria. No vertedouro identificou-se a existência de umidade nos degraus finais do vertedouro da barragem, próximo da bacia de dissipação, mais especificamente nas juntas de dilatação (Lima; Almeida, 2023). A Figura 5 e 6 apresentam algumas manifestações patológicas em barragem de concreto.

Figura 5 - Vegetação no paramento de jusante da barragem (a) e ninhos de concretagem (b)



Fonte: Lima; Almeida, 2023.

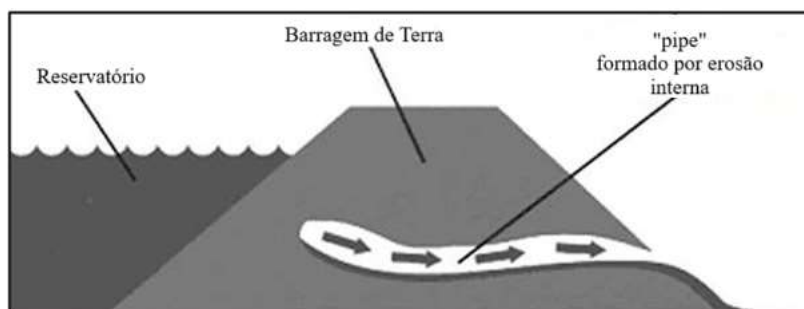
Figura 6 - Manchas escuras que representam possível porosidade do concreto (a) e infiltrações nos degraus do vertedouro da barragem (b)



Fonte: Lima; Almeida, 2023.

Nas barragens de terra têm como causa mais comuns de ruptura os problemas de erosão interna (*piping*), ela se dá através da umidade vinda de montante para jusante com a presença e carreamento de materiais, uma anomalia silenciosa, sutil e muito perigosa para barragens de terra podendo romper em poucas horas após a evidência da erosão (ASDSO, 2021). A Figura 7 apresenta como ocorre o processo de *piping* em uma barragem.

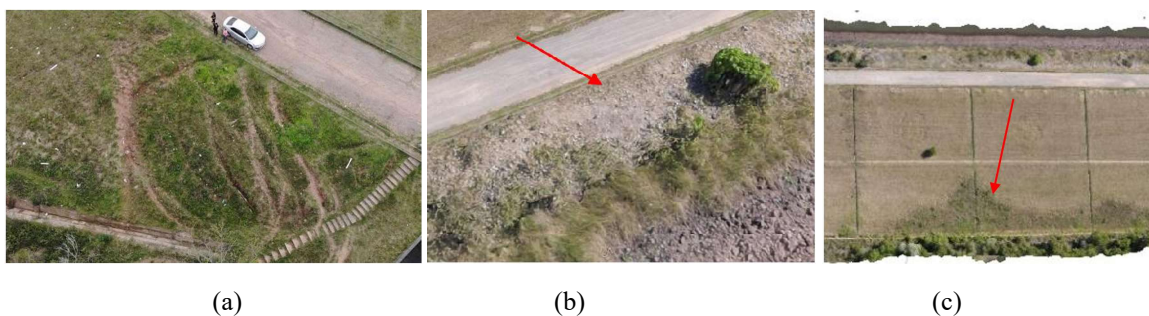
Figura 7 - Processo de *piping* em uma barragem de terra



Fonte: ASDSO, 2021.

Além do *piping*, em barragens de terra pode-se observar outras anomalias, sendo as mais recorrentes apresentadas em uma pesquisa e inspeção da Barragem dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Erosões nos taludes de montante e jusante, falta de proteção granular (*rip-rap*), presença de vegetação, tocas de animais, surgências no talude de jusante, no vertedouro também foi identificado a presença de armaduras expostas (Gorkos, 2022). A Figura 8 apresenta manifestações patológicas em barragem de terra.

Figura 8 - Erosões no talude (a), falta de proteção granular (b) e surgência identificada através de modelo tridimensional (c)



Fonte: Gorkos, 2022.

Deve-se obter imagens aéreas em diferentes ângulos para que possam ser identificadas as manifestações patológicas de forma mais assertiva, uma vez que a análise de uma foto pode confundir erosões em taludes com escorregamento e deslizamento de material ou até mesmo com surgências no talude de jusante da barragem estudada (Gorkos, 2022). Outra forma de se analisar e evitar esses erros podem ser através de geração de perfis longitudinais dessas áreas para identificar a profundidade e dimensões delas.

2.3.1. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGENS DE ALVENARIA DE PEDRA

As barragens de alvenaria de pedra estão sujeitas a manifestações patológicas que podem comprometer sua integridade estrutural. Entre as mais comuns estão fissuras nas juntas de argamassa, recalques diferenciais causados por irregularidades na fundação, infiltrações devido a falhas no revestimento ou juntas mal executadas e a presença de vegetação que pode agravar problemas de percolação. Essas anomalias, se não tratadas adequadamente, podem levar a degradações progressivas, colocando em risco a estabilidade da barragem (ANA, 2016a).

Lixiviação das argamassas, deformações estruturais e deslocamentos causados por pressão hidrostática, variações térmicas e condições ambientais agressivas são manifestações patológicas encontradas em barragens de alvenaria. Essas degradações reduzem os módulos de elasticidade da estrutura, variando entre 1 GPa e 4,5 GPa, e ressaltam a importância do monitoramento contínuo para garantir a segurança e a funcionalidade ao longo do tempo (Fernandes, 2016).

A barragem de Ridracoli localizada no vilarejo Santa Sofia na Itália, tem como finalidade o represamento de água para abastecimento humano, foi comparado duas técnicas de levantamento da represa, uma pelo método tradicional e uma por VANT. Na realização do estudo foi possível observar a presença de algumas anomalias como fissuras, deformações e degradação progressiva em áreas de difícil acesso, exacerbadas pela geometria complexa da estrutura. Essas patologias comprometem a segurança estrutural e evidenciam a necessidade de monitoramento sistemático e tecnologias avançadas para identificação e prevenção de falhas em áreas de difícil acesso (Buffi *et al.*, 2017).

2.4. SOLUÇÕES CORRETIVAS PARA MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGENS

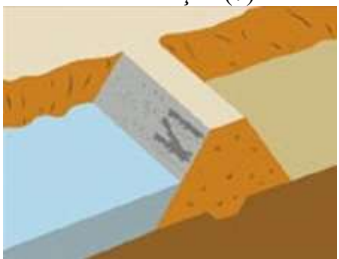
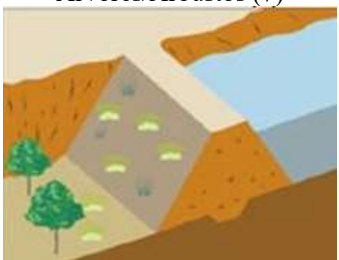
Com base nos manuais disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foi possível identificar ações corretivas recomendadas que podem ser adaptadas e aplicadas a barragens de alvenaria de pedra.

De acordo com ANA (2016a), em seu Anexo 2, apresenta uma lista de anomalias comuns e suas respectivas soluções corretivas, voltadas para barragens de terra e de concreto. A análise dessas informações serviu como base para a adaptação das recomendações a

anomalias similares observadas em barragens de alvenaria de pedra, considerando suas particularidades estruturais e de construção.

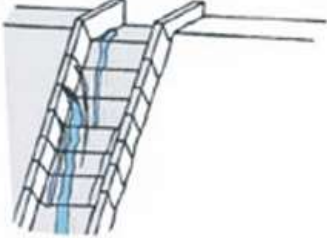
O Quadro 3 apresenta uma síntese das manifestações patológicas identificadas em barragens de terra, juntamente com as ações corretivas recomendadas para cada situação, considerando as particularidades dessa estrutura.

Quadro 3 - Principais manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Terra

BARRAGEM DE TERRA		
Manifestações Patológicas	Causa Provável	Ações Corretivas
Fissura na face de concreto ou deterioração (7) 	Concreto degradado em função dos efeitos do intemperismo, com sinais de desgaste superficial e perda de coesão. O material de preenchimento das juntas apresenta deterioração significativa, comprometendo a estanqueidade e a integridade estrutural.	Identificar a causa do dano e realizar o reparo com argamassa adequada. Para danos extensos, é indispensável a inspeção de um engenheiro qualificado, que deverá avaliar as condições e propor soluções permanentes.
Árvores/Arbustos (7) 	A vegetação local pode causar problemas, como raízes profundas que facilitam a passagem de água e arbustos que dificultam inspeções visuais e podem abrigar roedores.	Remover árvores de raízes profundas e arbustos do maciço e áreas próximas, além de eliminar vegetação que dificulte as inspeções visuais.
Crista Desalinhada (5) 	Movimentos entre partes adjacentes do maciço, com sinais de deformação estrutural ou rupturas próximas à área de desalinhamento.	Instalar marcos na crista para identificar a localização e extensão do desalinhamento. Um engenheiro deve avaliar a causa, supervisionar as correções necessárias e monitorar periodicamente os marcos para detectar futuros movimentos.
Vazamentos Vindos Das Ombreiras (8) 	Presença de fluxo de água por fissuras nas ombreiras.	Inspecionar a área para avaliar o fluxo e verificar possível carreamento de materiais. Um engenheiro ou geólogo qualificado deve analisar a situação e propor as ações necessárias.

Fonte: Adaptado da ANA, 2016a.

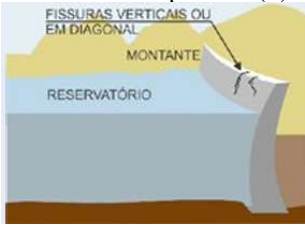
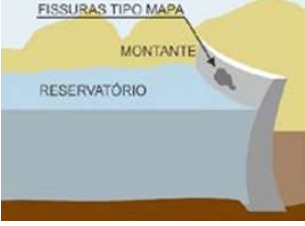
Quadro 4 - Principais manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Terra - Continuação

BARRAGEM DE TERRA		
Manifestações Patológicas	Causa Provável	Ações Corretivas
Infiltração através de uma junta de construção ou fissuras (rachaduras) na estrutura de concreto (10) 	Acúmulo de água atrás da estrutura causado por drenagem inadequada ou drenos obstruídos.	Verificar a área atrás da parede para identificar zonas saturadas e, se necessário, limpar os drenos e saídas de água. Caso o problema persista, um engenheiro qualificado deve inspecionar e recomendar ações corretivas.
Aumento do fluxo e carreamento de sedimentos na saída do dreno (11) 	Funcionamento inadequado do dreno devido a falhas na execução ou deterioração da camada filtrante.	Monitorar o fluxo e o carreamento de materiais, coletando amostras de água para verificar a turbidez. Se houver aumento na vazão ou turbidez, um engenheiro qualificado deve inspecionar o vertedouro e recomendar ações corretivas.

Fonte: Adaptado da ANA, 2016a.

O Quadro 4 apresenta uma síntese das manifestações patológicas identificadas em barragens de concreto e as ações corretivas recomendadas pela ANA para cada situação, considerando as particularidades deste tipo de estrutura.

Quadro 5 -Principais manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Concreto

BARRAGEM DE CONCRETO		
Manifestações Patológicas	Causa Provável	Ações Corretivas
Fissuras de superfície (1) 	Fissuras verticais ou diagonais podem resultar de tensões excessivas ou variações de temperatura em áreas restritas.	Aplicar injeção de epóxi para vedar as fissuras e recuperar a resistência do concreto. Para fissuras com largura superior a 6,0 mm e profundidade maior que 1,5 m, é indispensável a avaliação de um engenheiro qualificado para definir as medidas corretivas necessárias.
Fissuras do tipo mapa (2) 	Fissuras aleatórias abertas com presença de sílica-gel, indicativas de Reação Álcali-Agregado (RAA).	Reduzir o nível do reservatório e realizar a reconstrução da barragem. A presença imediata de um engenheiro qualificado é indispensável para inspecionar e orientar as medidas necessárias.
Deslocamento do concreto (3) 	Deslocamento de pequenos blocos ou lascas na superfície do concreto causado por movimentação diferencial nas juntas e concentração de tensões.	Realizar limpeza superficial e aplicar concreto ou gunitagem para reparo. Se o deslocamento ultrapassar 60 mm e expuser a ferragem, é obrigatória a avaliação de um engenheiro qualificado para determinar as ações necessárias.
Infiltrações através das juntas e fissuras (1) 	Veda-junta danificado, presença de fissuras ou falhas em juntas de construção, resultando em perda de água e lixiviação do concreto.	Preencher o dreno da junta com bentonita e injetar calda de cimento nas juntas de contração. Se o fluxo exceder 500 l/min por junta, é essencial a inspeção de um engenheiro qualificado para determinar as medidas corretivas.
Fissuras do tipo mapa (2) 	Fissuras abertas e aleatórias com presença de sílica-gel, características da Reação Álcali-Agregado (RAA), que pode levar à deterioração progressiva e comprometer a vida útil da barragem.	Reduzir o nível do reservatório e reconstruir a barragem. A presença imediata de um engenheiro qualificado é indispensável para inspecionar e orientar as ações necessárias.

Fonte: Adaptado da ANA, 2016a.

De acordo com ANA (2016b), em seu capítulo 3, são apresentadas algumas manifestações patológicas comuns em barragens de concreto, juntamente com suas soluções corretivas.

O Quadro 5 apresenta duas manifestações patológicas identificadas em barragens de concreto e as ações corretivas recomendadas pelo manual volume VII para cada situação, considerando suas particularidades.

Quadro 6 – Manifestações patológicas e ações corretivas – Barragem de Concreto

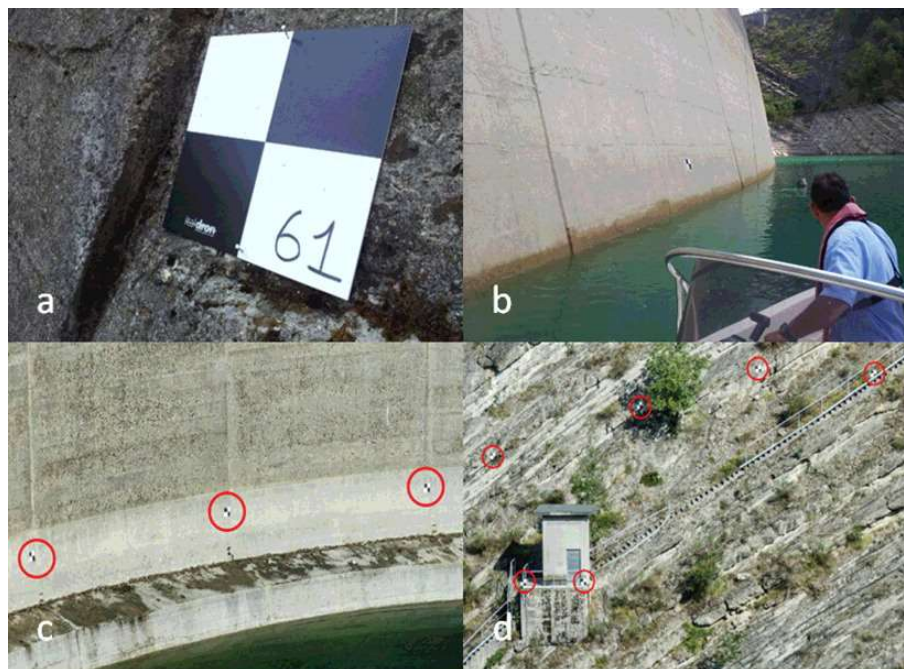
BARRAGEM DE CONCRETO		
Manifestações Patológicas	Causa Provável	Ações Corretivas
Surgências 	Falha no sistema de drenagem, resultando em aumento de subpressões. Passagens de água devido a tratamento inadequado das juntas.	Localizar e selar os pontos de entrada. Realizar injeção com calda de produtos impermeabilizantes. Pode exigir o esvaziamento do reservatório.
Fissuras 	Variações diárias de temperatura, afetando apenas a área superficial.	Injeção epóxi se houver implicação estrutural (*)

Fonte: Adaptado da ANA, 2016b.

2.5. SISTEMAS AÉREOS REMOTAMENTE PILOTADOS

A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) tem se destacado em levantamentos de infraestruturas com geometrias complexas, como barragens. Quando integrados a instrumentos topográficos tradicionais, esses sistemas possibilitam uma reconstrução métrica altamente precisa. Um exemplo dessa aplicação foi demonstrado na barragem de Ridracoli, na Itália, onde mais de 3.000 imagens foram capturadas por um drone, assegurando a exatidão de uma nuvem de pontos densos por meio do georreferenciamento de 218 pontos, incluindo marcadores artificiais e elementos naturais. A distribuição uniforme desses pontos foi essencial para minimizar distorções e reduzir erros globais, comprovando a eficiência e a economia dessa técnica, especialmente na aquisição e processamento de dados (Buffi *et al.*, 2017). A Figura 9 apresenta a distribuição uniforme dos pontos na estrutura barragem.

Figura 9 - (a) marcador aplicado próximo a uma articulação; (b) aplicação de marcador na face a montante; (c) aplicação de marcador na face a jusante perto da base da fundação; (d) aplicação de marcador em uma área localizada no lado esquerdo



Fonte: Buffi *et al.*, 2017

De acordo com Khaloo et al. (2018), a combinação de drones com a fotogrametria possui um grande potencial para a inspeção e avaliação de barragens. Esta metodologia permite a criação de modelos 3D de alta densidade, capazes de identificar detalhes críticos em escala milimétrica. Para isso, protocolos rigorosos, como o planejamento das trajetórias de voo e o controle de distâncias de afastamento, garantem tamanhos de pixel mínimos e precisão na reconstrução de defeitos estruturais. Além disso, eles sugerem a integração futura de tecnologias como digitalização a laser e coleta subaquática por veículos subaquáticos autônomo (AUVs), ampliando a confiabilidade e a aplicabilidade desse método em diferentes condições materiais e ambientais.

Diversos estudos destacam o uso de drones em inspeções de áreas relacionadas à engenharia e construção, confirmando sua versatilidade e eficácia. Por exemplo, o modelo DJI® Mavic 2 Enterprise Dual, apresentado na Figura 10, classificado como semiprofissional, foi utilizado em inspeções, equipado com uma câmera RGB e um sensor termográfico. Durante os testes, foi utilizada apenas a câmera RGB, sem acessórios adicionais, aproximando-se de modelos comerciais. Apesar de sua eficiência, essa solução apresentou limitações, como dependência de condições climáticas favoráveis, restrições de voo em áreas específicas e a

incapacidade de substituir plenamente a percepção sensorial humana, como tato e audição, frequentemente necessárias em inspeções presenciais (Gorkos, 2022).

Figura 10 - Mavic 2 Enterprise Dual



Fonte: Gorkos, 2022.

Outro modelo de drone empregado em pesquisas foi o HIGHONE 4HSEPRO, que utiliza uma câmera SONY Alpha 7R e tem autonomia de voo entre 18 e 30 minutos. A precisão da operação foi garantida por meio da integração com tecnologias complementares, como scanners a laser e estações totais, elevando a confiabilidade dos dados coletados (Buffi *et al.*, 2017). Esses equipamentos demonstram o potencial de integração entre inovação tecnológica e métodos tradicionais para aprimorar o monitoramento e a segurança de estruturas de grande complexidade.

2.5.1. USO DE DRONES PARA INSPEÇÃO DE BARRAGENS

O uso de drones tem ganhado destaque crescente no campo das inspeções de barragens, sendo amplamente reconhecido por proporcionar maior segurança aos inspetores, reduzir custos operacionais e otimizar a coleta de dados, especialmente em locais de difícil acesso (Gorkos, 2022). Essas aeronaves remotamente pilotadas são capazes de fornecer imagens detalhadas e atualizadas com rapidez, facilitando a identificação de problemas estruturais e aprimorando o monitoramento de forma eficiente (Buffi *et al.*, 2017).

Além disso, o mercado tem acompanhado a evolução tecnológica, promovendo maior acessibilidade e aceitação do uso de drones. A combinação de avanços nos equipamentos, redução nos custos e a necessidade de soluções inovadoras em segurança estrutural impulsionaram a adoção dessa tecnologia em inspeções críticas, como as realizadas em barragens (Gorkos, 2022). O emprego de modelos tridimensionais gerados a partir de imagens capturadas por drones, por exemplo, possibilita uma análise mais detalhada da geometria e das

condições das estruturas, oferecendo informações precisas e confiáveis para a tomada de decisões (Naumann *et al.*, 2013, *apud* Buffi *et al.*, 2017).

Entre as principais vantagens dessa abordagem, destacam-se a rapidez na coleta de dados, a capacidade de capturar imagens de ângulos variados e a criação de modelos tridimensionais detalhados. Essas características permitem um entendimento mais aprofundado das condições das estruturas analisadas, favorecendo ações corretivas e preventivas (Buffi *et al.*, 2017; Gorkos, 2022). Em aplicações práticas, drones têm demonstrado eficiência em detecção de anomalias, como irregularidades em diques e superfícies de aterros, auxiliando na identificação de pontos críticos com alta precisão.

A utilização de drones para inspeção de barragens se mostra vantajosa devido à sua capacidade de gerar modelos tridimensionais de alta precisão e resolução, essenciais para identificar detalhes críticos e defeitos estruturais em escala milimétrica. Essa abordagem, ao integrar a fotogrametria e o georreferenciamento de pontos estratégicos, permite a obtenção de dados precisos, minimizando distorções e erros globais. Além disso, os drones facilitam a inspeção de áreas de difícil acesso e agilizam o processo de coleta de informações, tornando a técnica mais econômica e eficiente em comparação com métodos tradicionais. Esse potencial, aliado à possibilidade de integração com outras tecnologias, como a digitalização a laser e o uso de AUVs para inspeções subaquáticas, reforça a importância do uso de drones no monitoramento de infraestruturas complexas como as barragens (Khaloo *et al.*, 2018).

Entretanto, como qualquer tecnologia, o uso de drones também apresenta desafios. Entre as limitações, estão a dependência de condições climáticas favoráveis, restrições de voo em áreas específicas e a necessidade de tecnologias complementares para garantir a precisão dos dados coletados. Além disso, os drones não substituem completamente a percepção sensorial humana, como tato e olfato, que continua sendo relevante em inspeções presenciais (Gorkos, 2022; Buffi *et al.*, 2017).

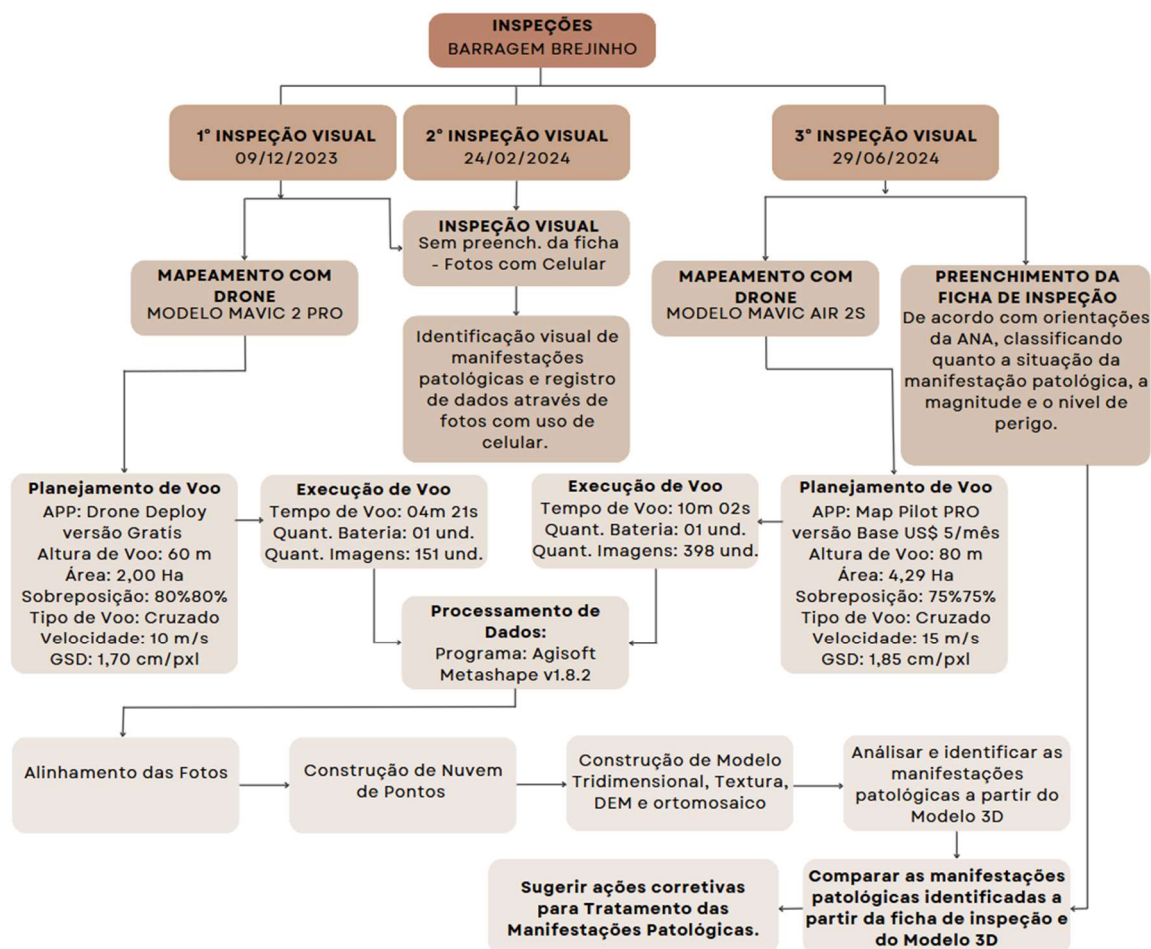
Apesar dessas limitações, o uso de drones já se consolidou como uma ferramenta indispensável para inspeções em barragens. Sua aplicação tem contribuído para elevar os padrões de segurança estrutural, reduzindo riscos e otimizando processos. Essa tecnologia, associada a boas práticas de engenharia, pode transformar significativamente a forma como as barragens são monitoradas e gerenciadas.

3. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os métodos e procedimentos utilizados para a realização da pesquisa. Inicialmente, são apresentadas as características da barragem analisada e dos drones empregados no estudo. Em seguida, detalham-se os processos de coleta de imagens com o drone, da inspeção visual e da geração do modelo tridimensional. Por último, é descrita a estratégia de identificação das manifestações patológicas encontradas na barragem.

O Figura 11 ilustra um fluxograma que destaca as principais etapas da metodologia aplicada nesta pesquisa.

Figura 11 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autora.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM

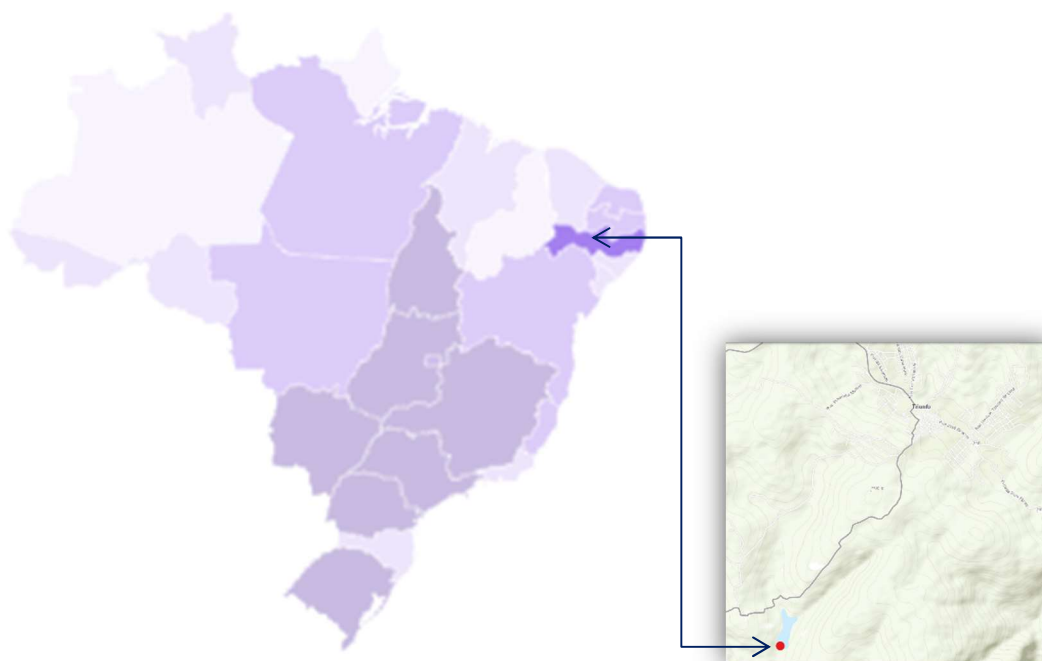
A Barragem de Brejinho, situada na zona rural de Triunfo/PE, foi construída na década de 1970 e entrou em operação em 1981. Com capacidade para armazenar até 283.762 m³ de água, sua principal finalidade é o abastecimento do município. Construída em alvenaria de

pedra revestida com argamassa, essa barragem do tipo gravidade enfrenta desafios significativos, especialmente devido à ausência de documentação técnica original e aos longos períodos de seca, que já resultaram na redução do nível de água em algumas ocasiões (COMPESA, 2021).

A barragem analisada nessa pesquisa tem como órgão fiscalizador a APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima e tem como empreendedor a COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento.

O código de cadastro do SNISB é 20331, com as seguintes coordenadas, latitude - 7,8644722222 e longitude -38,1193888889. A Figura 12 apresenta a localização da Barragem Brejinho no mapa (SNISB, 2025).

Figura 12 - Localização da Barragem Brejinho



Fonte: SNISB, 2025.

O Quadro 6 reúne as principais características da Barragem Brejinho, enquanto a Figura 13 apresenta uma fotografia da barragem, evidenciando os elementos e estruturas mais relevantes que a compõem.

Quadro 7 - Características da Barragem Brejinho

Bacia contribuinte	¹ Bacia do Rio São Francisco
Volume do reservatório	² 283.762 m ³ (cota 421,02 m)
Área inundada	² 58.492 m ²
Altura sobre o leito	¹ 16 m
Altura sobre as fundações	¹ 16 m
Comprimento na cota de coroamento	¹ 150 m
Ano da construção	² 1970
Data da Última Inspeção Regular	¹ 30/12/2021
¹ Dado conforme ANA, 2024;	
² Conforme informado pelo empreendedor.	

Fonte: Adaptado de Gorkos,2024, conforme ANA, 2024 e informações fornecidas pelo empreendedor.

Figura 13 - Características da Barragem



Fonte: Autora.

A barragem tem altura de 16 m, a partir da fundação. Possui um vertedouro não controlado do tipo soleira livre, com 150 m de coroamento, sendo em média 38 m de comprimento localizado no centro do barramento para o vertedouro. Dentre os vários elementos e estruturas associadas que compreendem a barragem, para os fins desta pesquisa, foram considerados: a) paramento de montante (lados direito e esquerdo do vertedouro); b) crista; c) paramento de jusante (lados direito e esquerdo do vertedouro); d) vertedouro; e) reservatório;

f) região a jusante da barragem (extensão de todo o barramento, incluindo uma faixa de 10 metros à frente).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO DRONE UTILIZADO

A aeronave utilizada foi o modelo DJI® Mavic Air 2S, complementado pelo DJI® Mavic 2 Pro, por se tratar de modelos disponíveis à realização da pesquisa e atenderem a demanda proposta. O Mavic Air 2S é equipado com uma câmera de 20 MP e sensor CMOS de 1 polegada, garantindo imagens de alta qualidade e excelente desempenho em missões de inspeção. Já o Mavic 2 Pro se destaca por sua câmera Hasselblad, com tecnologia HDR e maior alcance dinâmico, ideal para capturas precisas e detalhadas.

Para as inspeções realizadas nesta pesquisa, os drones foram utilizados em suas configurações básicas. Ambos os modelos possuem baterias recarregáveis, sendo três unidades disponíveis para cada drone, o que permitiu a realização de missões contínuas e eficientes.

As Figuras 14 e 15 ilustram os equipamentos, destacando suas características principais, o Quadro 7 apresenta os principais detalhes técnicos dos drones utilizados.

Figura 14 - Fotografia do drone Mavic 2 Pro



Fonte: DJI Store, 2020.

Figura 15 - Fotografia do drone Mavic AIR 2S



Fonte: DJI Store, 2021.

Quadro 8 – Especificações técnicas dos drones utilizados nesta pesquisa

Modelo	DJI® Mavic 2 Pro	DJI® Mavic Air 2S
Peso de decolagem	907 g	595 g
Dimensões (comprimento x largura x altura)	Dobrada: 214×91×84 mm Desdobrada: 322×242×84 mm	Dobrada: 180×97×77 mm Desdobrada: 183×253×77 mm
Velocidade máxima (sem vento)	72 km/h (modo S)	68 km/h (modo S)
Tempo máximo de voo (sem vento)	31 minutos (a constantes 25 km/h)	31 minutos (a constantes 32,4 km/h)
Resistência máxima ao vento	29-38 km/h	29-38 km/h
GNSS	GPS+GLONASS	GPS+GLONASS+GALILEO
Alcance de precisão em voo estacionário (com posicionamento visual)	Vertical: ± 10 cm Horizontal: ± 30 cm	Vertical: ± 10 cm Horizontal: ± 10 cm
Inclinação controlável do gimbal	-90 a 30°	-90 a 0°
Sensor da câmera	1" CMOS Pixels efetivos: 20 milhões	CMOS de 1" Pixels efetivos: 20 MP
Lente	Campo de visão: cerca de 77°; Abertura: f/2.8	Campo de visão: cerca de 88°; Abertura: f/2.8
Dimensões da imagem	5472×3648	20 MP 5472×3648 (3:2) 5472×3078 (16:9)
Modos de gravação de vídeo	4K: 3840×2160 2.7K: 2688×1512 FHD: 1920×1080	5,4K: 5472×3078 4K em Ultra HD: 3840×2160 2,7K: 2688×1512 FHD: 1920×1080 MP4/MOV
Sistema de detecção de obstáculos	Omnidirecionais: frontal, traseiro, superior, inferior, laterais	frontal, traseiro, superior, inferior
Distância máxima de transmissão	6.000 a 10.000 m	5.000 a 12.000 m

Fonte: Adaptado de Gorkos,2024, conforme DJI, 2020 e 2021.

3.3. INSPEÇÕES *IN LOCO* REALIZADAS

As inspeções foram realizadas utilizando fichas específicas para registro, fotos terrestres capturadas por celular e imagens aéreas obtidas com o drone. Além disso, foi executado um mapeamento automatizado, que permitiu a geração de produtos complementares, ampliando a base de dados e enriquecendo as análises realizadas durante a inspeção. A ficha de inspeção encontra-se no Anexo A desse trabalho.

As atividades consistiram em inspeções regulares voltadas para a identificação de manifestações patológicas, realizadas de forma visual e convencional, em conformidade com as orientações estabelecidas pela ANA, conforme identificado na revisão bibliográfica desta pesquisa.

Estrategicamente em 09 de dezembro de 2023, foi realizada a primeira inspeção na Barragem Brejinho, pois a baixa acumulação de água possibilitou uma análise visual mais detalhada. Essa condição excepcional permitiu a observação completa do paramento de montante, das tubulações de descarga nessa mesma área e de outras partes normalmente submersas, revelando aspectos estruturais que seriam difíceis de avaliar em condições regulares.

No dia 24 de fevereiro de 2024, foi realizada uma nova inspeção na Barragem, em um cenário similar ao da visita de anterior. A baixa acumulação permitiu apenas uma análise visual, mantendo-se as manifestações patológicas já identificadas.

Posteriormente em 29 de junho de 2024, foi realizada uma nova inspeção na barragem, desta vez com o reservatório em sua capacidade máxima de acumulação. O objetivo foi verificar possíveis pontos de infiltração, identificar problemas nos sistemas de drenagem e avaliar outros aspectos que se tornaram evidentes devido ao nível elevado do reservatório.

Essas três inspeções se revelaram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, visto que a comparação entre as condições observadas nas três inspeções possibilitou uma visão ampla e detalhada do comportamento estrutural da barragem em diferentes cenários, contribuindo significativamente para a identificação de falhas e para a identificação de possíveis soluções técnicas destinadas à mitigação de riscos e ao aumento da segurança operacional da estrutura.

3.4. PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE IMAGENS COM DRONE

As imagens aéreas foram capturadas nos dias 09 de dezembro de 2023 e 29 de junho de 2024, durante o período da tarde, na barragem. A operação do drone e a coleta de imagens foram realizadas pela autora, assegurando total controle sobre o processo. Em ambas as inspeções, as condições climáticas eram favoráveis, com céu claro, sol e ausência de ventos significativos, garantindo qualidade e estabilidade nas capturas.

A coleta de dados para obtenção de modelos tridimensionais foi realizada através dos drone Mavic 2 Pro no dia 09 de dezembro de 2023 e pelo Mavic AIR 2S no dia 29 de junho de 2024. No primeiro caso foi utilizado o aplicativo de voo automatizado Drone Deploy e no segundo o aplicativo de voo Map Pilot PRO. Abaixo segue Quadro 8 com características de voo de cada levantamento.

Quadro 9 - Características do mapeamento

Modelo Utilizado	DJI® Mavic 2 Pro	DJI® Mavic Air 2S
Data do Levantamento	09 de dezembro de 2023	29 de junho de 2024
Aplicativo de Voo	Drone Deploy (Versão Gratuita)	Map Pilot Pro (Base US\$ 5/mês)
Sobreposição (Lateral/Frontal)	80%/80%	75%/75%
Altura de Voo	60 m a partir da crista	80 m a partir da crista
Quantidade de Imagens Obtidas	151	398
Modo de Captura / Tipo de Voo	Ortogonal / Cruzado	Ortogonal / Cruzado
GSD	1,70 cm/pix	1,85 cm/pix
Área Levantada	2,00 Há	4,29 Ha
Tempo de Voo	04 minutos 21 segundos	10 minutos 2 segundos
Velocidade de Voo	10 m/s	15 m/s

Fonte: elaborado pela autora.

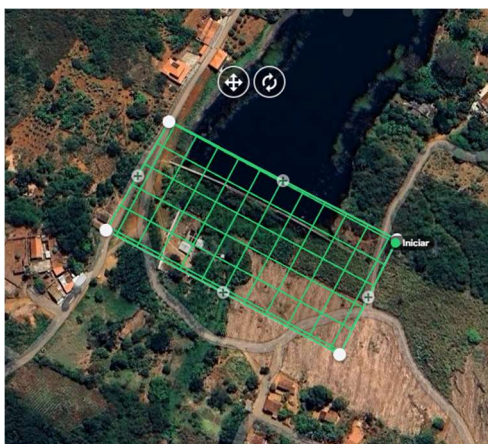
Na geração de modelos tridimensionais, as imagens podem ser obtidas em dois principais modos de captura: ortogonal e oblíquo. O modo ortogonal é amplamente utilizado para levantamento de grandes áreas, pois proporciona uma visão predominantemente horizontal, característica essencial na aerofotogrametria. Para esta pesquisa, optou-se pelo voo ortogonal, uma vez que esse método possibilita a obtenção de imagens precisas e homogêneas, garantindo a representação eficiente da área analisada.

No planejamento de voo através do software Drone Deploy e Map Pilot Pro, optou-se por inserir a localização no mapa e delimitar a área a ser mapeada, também seria possível inserindo um KML pré-delimitado no Google Earth. Parâmetros como altitude do voo, percentual de sobreposição das imagens e inclinação da câmera foram configurados para atender os objetivos do levantamento.

Altitudes maiores reduzem a resolução espacial das imagens, mas diminuem o tempo de voo ao exigir menos capturas. Por outro lado, uma sobreposição maior aumenta o número de imagens, demandando mais tempo e consumo de bateria. Como as áreas eram pequenas e necessitavam apenas de uma bateria optou-se por voos com alturas médias.

As fotografias foram coletadas nas dimensões de 5472×3648 de resolução, sendo essa a capacidade máxima de resolução da câmera dos drones utilizados. Para demonstração a Figura 16 apresenta a trajetória traçada para coleta de imagens utilizando o aplicativo Drone Deploy com uso do Mavic 2 PRO com voo cruzado e melhoramento 3D, o mesmo procedimento foi adotado no aplicativo Map Pilot PRO sem o melhoramento 3D, uma vez que o aplicativo não disponibiliza essa função.

Figura 16 - Trajetórias para coleta de imagens Drone Deploy



Fonte: Autora.

Realizou-se também a captura de imagens aéreas para inspeção e vídeos manuais, esses conduzidos através do aplicativo de voo DJI GO 4 para o Mavic 2 PRO e o aplicativo DJY Fly para o Mavic AIR 2S. Os vídeos foram adquiridos no formato 4K, com taxa de transmissão de 30 frames por segundo.

3.5. PREENCHIMENTO DA FICHA DE INSPEÇÃO

A ficha de inspeção foi preenchida com base no modelo disponibilizado no Anexo 01 – Fichas de Inspeção de Segurança Regular e no extrato presente no Volume II do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Guia de Orientações e Formulários para Inspeção de Segurança de Barragem. A metodologia e as orientações do manual foram aplicadas ao tipo de barragem analisado nesta pesquisa, estando a ficha de inspeção integralmente apresentada no Anexo A.

As informações documentadas abrangem a análise do paramento de montante, crista, paramento de jusante, vertedouro/sangradouro, reservatório e região a jusante da barragem, em conformidade com as recomendações do referido manual. Essa etapa foi integrada à inspeção com o uso de drone, possibilitando a observação de áreas de difícil acesso e a coleta de dados

mais detalhados para identificar manifestações patológicas. O preenchimento documental e a análise seguiram os procedimentos descritos na bibliografia utilizada, buscando facilitar o diagnóstico de anomalias a partir de inspeções visuais e do uso de tecnologia embarcada em drones.

3.6. GERAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS

O uso de drones permitiu o mapeamento detalhado da área de estudo, possibilitando a criação de produtos adicionais que enriquecem a inspeção visual das barragens. O mapeamento foi processado no software Agisoft Metashape Professional, versão 1.8.2, para gerar o modelo tridimensional da barragem, seguindo o fluxo de trabalho tradicional (Figura 17): i) alinhamento de fotos, ii) construção da nuvem de pontos, iii) geração da malha tridimensional e iv) aplicação da textura (Gorkos, 2022).

Figura 17 - Fluxo de trabalho padrão para geração de modelos tridimensionais



Fonte: Gorkos, 2022.

Como alternativa, foi explorada a criação de modelos “ladrilhados” (*tiled models*), onde cada face do modelo tridimensional é substituída pelos pixels correspondentes das imagens, resultando em uma resolução mais fiel à região modelada. Contudo, esses modelos são compatíveis apenas com os softwares Agisoft Metashape ou Agisoft Viewer.

Para cada etapa, foi possível ajustar a resolução do processamento, sendo que resoluções mais altas demandaram maior tempo e desempenho computacional. O processamento foi realizado em um computador equipado com processador Intel Core i7 modelo 10700F (2.90GHz), 64 GB de memória RAM e placa de vídeo dedicada NVIDIA GeForce RTX 3060 Ti.

O Quadro 9 e 10 apresenta os parâmetros de processamento utilizados para cada etapa do fluxo de trabalho em ambos os mapeamentos analisados. O software oferece níveis de precisão que variam entre máxima (*highest*), alta (*high*), média (*medium*), baixa (*low*) e mínima (*lowest*). Durante o processamento, foram priorizadas as configurações de maior precisão para garantir a obtenção de produtos com alta resolução.

Quadro 10 - Parâmetros de processamento para geração do modelo tridimensional – Mapeamento 09/12/2023

Mapeamento 09/12/2023 – 398 imagens – Mavic 2 PRO– GSD 1.81 cm/pix		
Etapa do Processamento	Precisão	Tempo de Processamento (h)
Alinhamento das fotos	Máxima	00:15:31
Construção da nuvem de pontos	Ultraelevada	01:03:00
Construção do modelo	Ultraelevada	00:48:04
Construção da textura	Alta	04:30:00
DEM	-	00:03:48
Ortomosaico	-	00:16:35
Tempo total de processamento		06:56:58

Fonte: Adaptado de Gorkos, 2022.

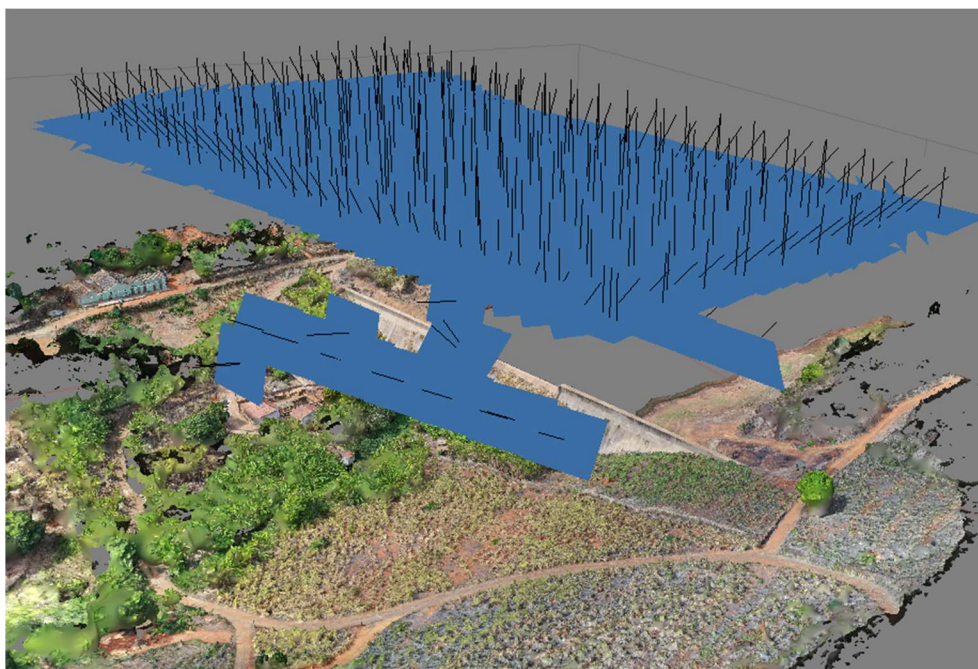
Quadro 11 -Parâmetros de processamento para geração do modelo tridimensional – Mapeamento 29/06/2024

Mapeamento 29/06/2024 – 151 imagens – Mavic AIR 2S – GSD 2.57 cm/pix		
Etapa do Processamento	Precisão	Tempo de Processamento (h)
Alinhamento das fotos	Máxima	00:11:49
Construção da nuvem de pontos	Ultraelevada	00:19:54
Construção do modelo	Ultraelevada	00:19:54
Construção da textura	Alta	00:26:38
DEM	-	00:02:28
Ortomosaico	-	00:05:09
Tempo total de processamento		01:25:52

Fonte: Adaptado de Gorkos, 2022.

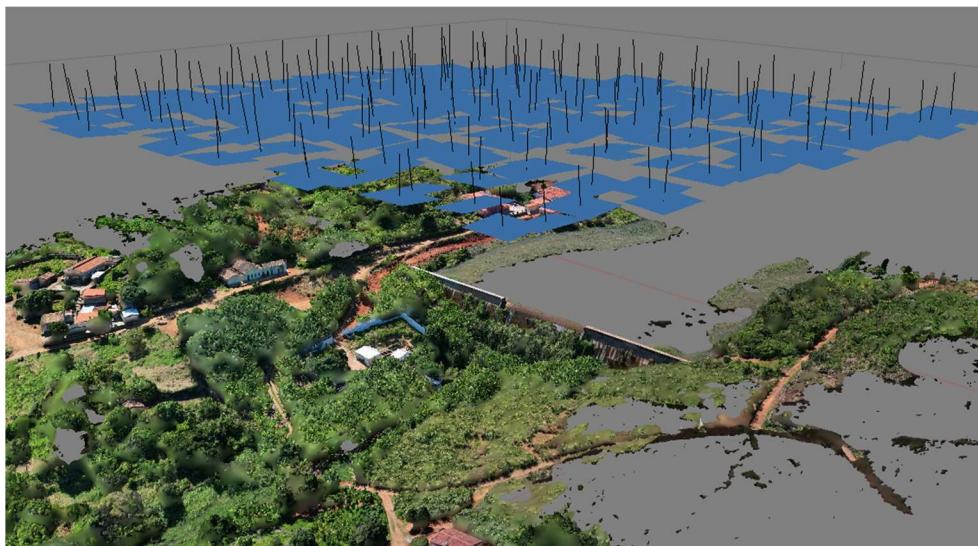
Após a geração do modelo 3D, as áreas adjacentes que não representavam a barragem foram recortadas, reduzindo o tamanho final dos arquivos e otimizando sua manipulação. A Figura 18 e 19 apresentam a disposição e a perspectiva de captura das fotografias utilizadas, sobrepostas à imagem de GPS da Barragem Brejinho.

Figura 18 - Disposição e a perspectiva de captura das fotografias – Mapeamento 09/12/23



Fonte: Autora.

Figura 19 - Disposição e a perspectiva de captura das fotografias – Mapeamento 29/06/24



Fonte: Autora.

3.7. ANÁLISE DE DADOS E IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COM SUGESTÕES DE CORREÇÕES

A etapa de análise e identificação de anomalias, foi otimizada com a disponibilização das imagens capturadas por drones.

A identificação das manifestações patológicas foi realizada com base nos arquivos obtidos durante as inspeções. Esses materiais incluíram fotos terrestres e aéreas, fichas de inspeção, relatórios detalhados e modelos tridimensionais gerados a partir do mapeamento das barragens. A integração desses diferentes produtos proporcionou uma análise abrangente e detalhada, permitindo uma maior precisão na caracterização das condições estruturais da barragem estudada.

O processo de análise seguiu rigorosamente as orientações da legislação aplicável, conforme descrito na bibliografia desta pesquisa. Através dessa abordagem, foi possível não apenas identificar e mensurar as anomalias presentes, mas também propor ações técnicas para mitigar os potenciais impactos que essas falhas poderiam causar à segurança estrutural e ao meio ambiente. Essa etapa foi essencial para garantir que as propostas de intervenção fossem embasadas em dados técnicos confiáveis e devidamente fundamentados.

Embora as inspeções visuais auxiliem na identificação de anomalias, elas não são suficientes para direcionar detalhadamente todas as intervenções. A complexidade estrutural das barragens, que envolve variações nos materiais, métodos construtivos, resistência e porosidade, exige análises mais aprofundadas. Muitas falhas podem não ser perceptíveis apenas visualmente, tornando necessária a realização de ensaios tecnológicos e estudos de viabilidade técnica para um diagnóstico mais preciso e embasado.

4. RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e analisados os resultados obtidos em cada etapa desta pesquisa. Inicialmente, é realizada a análise documental das fichas de inspeção recomendadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), destacando as principais manifestações patológicas identificadas e descritas. Em seguida, são examinadas as manifestações patológicas detectadas, com a mensuração de algumas delas utilizando modelos tridimensionais gerados das barragens, evidenciando a importância desses modelos no detalhamento das análises. Por fim, os resultados são sintetizados, abrangendo a inspeção, identificação das manifestações patológicas e as propostas de soluções para mitigar os impactos, conforme as recomendações técnicas da equipe de trabalho e o embasamento bibliográfico da pesquisa.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ATRÁVES DA FICHA DE INSPEÇÃO -INSPEÇÃO VISUAL

A ficha de inspeção da barragem foi preenchida com base em dois conjuntos principais de informações: uma inspeção realizada em 2021, disponibilizada pelo empreendedor responsável pela barragem, e a ficha preenchida pela autora em uma visita técnica realizada no dia 29 de junho de 2024. Esses documentos fornecem uma visão detalhada das condições estruturais e operacionais da barragem em momentos distintos, permitindo uma análise comparativa ao longo do tempo.

Durante as inspeções, foi possível identificar diversas manifestações patológicas, cuja análise é essencial para a avaliação do estado de conservação e segurança da estrutura. Para enriquecer a pesquisa e ampliar a compreensão sobre as manifestações patológicas observadas, a barragem foi inspecionada em três ocasiões diferentes, abrangendo períodos com condições distintas de acumulação de água no reservatório. Essa abordagem possibilitou a análise das anomalias sob diferentes perspectivas, considerando variações nos esforços estruturais e nas condições ambientais.

O Quadro 11 apresenta as principais características das visitas realizadas, destacando as condições específicas de cada inspeção, como níveis de acumulação e metodologias empregadas. Essa abordagem metodológica reforça a importância de um monitoramento contínuo e diversificado, assegurando maior precisão na identificação de problemas e na proposição de ações corretivas adequadas para a manutenção e operação segura da barragem.

Quadro 12 - Características da visita

ID da Inspeção:	Data da Inspeção	Situação de Acumulação da Barragem	Preenchimento de Ficha:	Foi realizado Mapeamento com Drone:
01	09/12/2023	Colapso/Volume morto	Não	Sim
02	24/02/2024	Colapso/Volume morto	Não	Não
03	29/06/2024	Sangria	Sim	Sim

Fonte: autora.

Para demonstração das manifestações patológicas observadas e suas respectivas classificações, optou-se por categorizar de acordo com as diferentes partes estruturais da barragem: paramento de montante, crista, paramento de jusante, sangradouro, reservatório e a região a jusante da barragem. A análise detalhada em cada segmento é fundamental para compreender o estado de conservação e propor ações corretivas direcionadas.

- Paramento de Montante:

Durante a inspeção 02, foram identificadas fissuras horizontais ao longo do paramento de montante, apresentando um padrão recorrente e tonalidade mais escura. Esse comportamento pode estar associado à desagregação da argamassa de revestimento ou à presença de porosidade elevada no material, indicando possíveis falhas na integridade estrutural da barragem.

A Figura 20 ilustra o paramento de montante da barragem, destacando dois pontos principais: (a) fissuras horizontais identificadas durante a inspeção e (b) áreas com sinais de porosidade ou desagregação da argamassa de revestimento.

Figura 20 - Paramento de Montante - Fissuras horizontais e manchas (a) e pontos de elevada porosidade ou desagregação da argamassa (b)



Fonte: Autora.

Do ponto de vista técnico, as fissuras horizontais podem ser indicativas de tensões internas provocadas por variações de carga hidrostática, retração térmica ou ciclos de molhagem e secagem, especialmente em estruturas de concreto (ANA, 2016b). Já a desagregação e a porosidade elevada podem estar relacionadas à qualidade inadequada dos materiais utilizados, erros na execução do revestimento ou ação de agentes ambientais, como infiltrações. Esses fatores ressaltam a importância de uma análise criteriosa e contínua para prevenir falhas mais severas.

- Crista

Na crista da barragem, constatou-se a ausência de elementos essenciais de segurança, como sinalização adequada, placas de advertência e guarda-corpos no coroamento. As Figuras 21 a 24 ilustram a situação atual da crista destacando essas deficiências.

Figura 21 - Vista do coroamento da barragem observada da lateral esquerda na inspeção 2



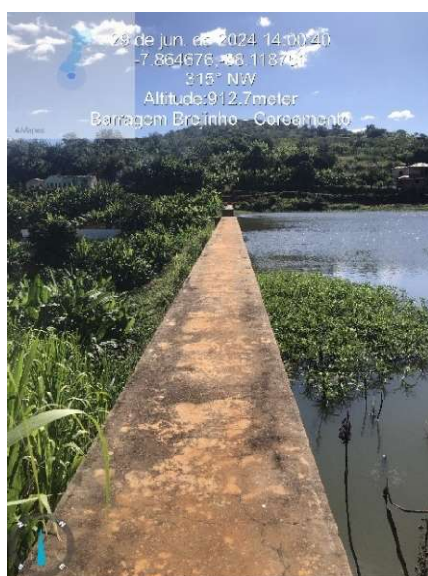
Fonte: Autora.

Figura 22 - Vista geral do coroamento, ausência de dispositivos de segurança na inspeção 2



Fonte: Autora.

Figura 23 - Vista do coroamento da barragem observada da lateral direita na inspeção 3



Fonte: Autora.

Figura 24 - Vista geral do coroamento na inspeção 3



Fonte: Autora.

Além disso, foi identificada uma discrepância nas cotas do coroamento. O marco geodésico no coroamento apresenta a cota de 422,515 m, enquanto foi identificado através do PE3D no relatório de inspeção de 2021 disponibilizado pelo empreendedor que indica cotas em torno de 909 m em relação ao nível do mar, evidenciando inconsistências que devem ser investigadas e corrigidas para assegurar a conformidade do projeto. A Figura 25 apresenta os marcos encontrados na lateral esquerda do coroamento.

Figura 25 - Marcos - lateral esquerda do coroamento

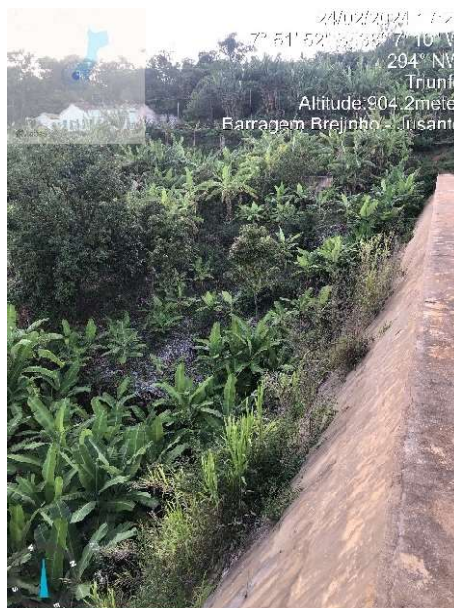


Fonte: Autora.

- Paramento de Jusante

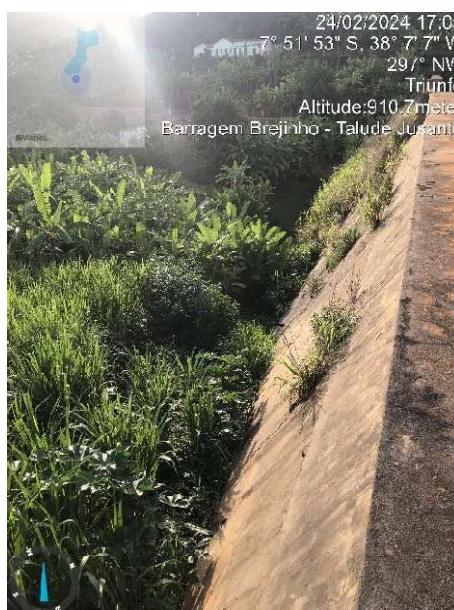
No paramento de jusante, através das Figuras 26 a 29 pode-se observar a presença densa de vegetação sobre o barramento e seu crescimento entre a inspeção 02 e 03.

Figura 26 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral direita - Visita 02



Fonte: Autora.

Figura 27 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral esquerda - Visita 02



Fonte: Autora.

Figura 28 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral direita - Visita 03



Fonte: Autora.

Figura 29 - Paramento de Jusante - Presença de vegetação nas falhas e fissuras existentes no barramento- Lateral esquerda - Visita 03



Fonte: Autora.

As raízes dessas vegetações podem ter contribuído para o surgimento de fissuras associadas à umidade e, em algumas áreas, foi identificada percolação aparente de água como mostra a Figura 29. A remoção da vegetação é indispensável para inspeções detalhadas das fissuras e infiltrações subjacentes. Além disso, foram observadas degradações na argamassa de

revestimento, incluindo áreas com deslocamento. A figura 30 apresenta um exemplo dessa anomalia encontrada no paramento de jusante na lateral esquerda.

Figura 30 - Paramento de Jusante - Lateral Esquerda - Deslocamento da argamassa de revestimento - Imagem obtida com uso de drone

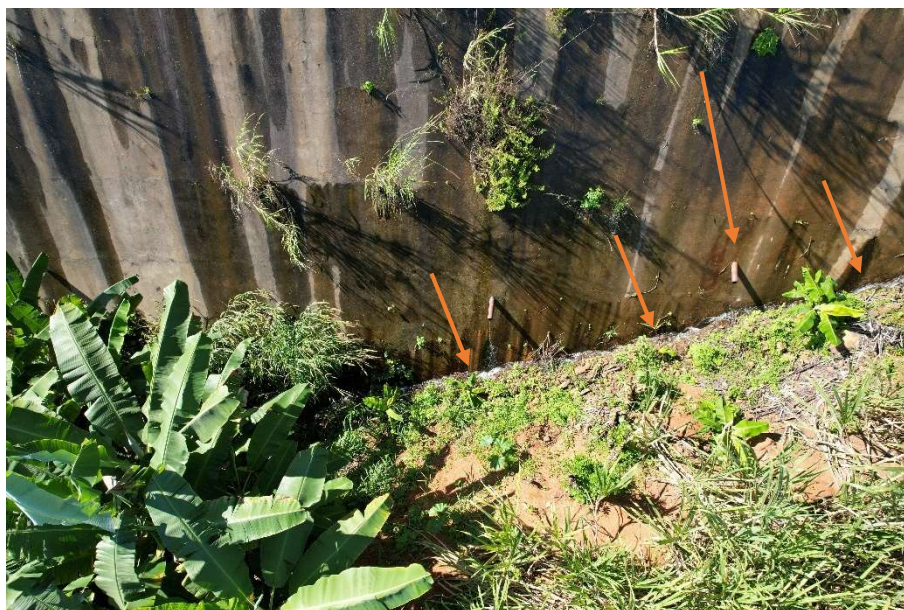


Fonte: Autora.

Outro ponto crítico foi a identificação de alguns drenos obstruídos e outros parcialmente obstruídos na inspeção 03. No entanto, não foi possível a verificação do carreamento de materiais devido à falta de acesso. Em função da vegetação densa e do difícil acesso, a inspeção não pôde ser concluída em todas as áreas. A Figura 31 ilustra as condições observadas, reforçando a necessidade de intervenções urgentes para restaurar a funcionalidade dos drenos e avaliar a integridade estrutural.

Ainda na Figura 31, foi possível identificar uma surgência de água localizada na lateral direita da barragem. Essa anomalia foi registrada durante a visita 03, quando o reservatório apresentava níveis em cota de sangria. Por outro lado, na visita 02, devido ao estado de colapso do nível de água do reservatório, a surgência de água não foi observada, uma vez que o nível reduzido do reservatório inviabilizou sua manifestação.

Figura 31 - Drenos obstruídos - Lateral direita – Imagem obtida com uso de drone



Fonte: Autora.

A ocorrência dessa surgência de água pode estar associada a potenciais falhas no sistema de drenagem da barragem, ou à presença de vazios internos que favorecem o escoamento de água. Sendo fundamental realização de ensaios tecnológicos que permitam caracterizar os materiais quanto à porosidade, densidade, percolação e resistência para indicar as intervenções necessárias, bem como o monitoramento contínuo para identificar possíveis agravamentos significativos que possam comprometer a estabilidade e a funcionalidade da barragem adotando as medidas emergenciais cabíveis.

- Sangradouro

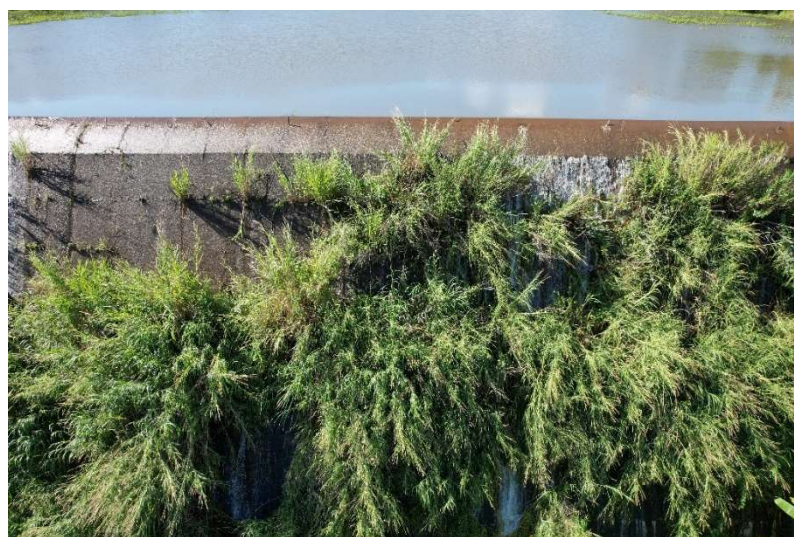
No sangradouro, há presença de vegetação densa, indicando possíveis fissuras no revestimento e problemas nas juntas de argamassa. A remoção da vegetação é necessária para permitir uma inspeção mais detalhada. As Figuras 32 e 33 apresentam as condições do sangradouro.

Figura 32 - Condições do sangradouro - Visita 02 - Presença de densa vegetação no barramento



Fonte: Autora.

Figura 33 - Sangradouro - Foto obtida com drone – Visita 03



Fonte: Autora.

Pode-se observar a presença de diversas fissuras mapeadas (Figura 32 e 33), tendo causas possíveis de retração da argamassa, além de desgaste no revestimento argamassado conforme Figura 34.

Figura 34 - Condições do sangradouro - Visita 03



Fonte: Autora.

- Reservatório

O reservatório apresentou necessidade de melhorias no monitoramento, incluindo a instalação de novas réguas para medir o nível de acumulação. A Figura 35 apresenta registros de réguas danificadas e faltantes.

Figura 35 - Réguas danificadas



Fonte: Autora.

Foi constatada uma nova construção dentro da área de preservação permanente do reservatório, conforme Figura 36, o que representa um problema ambiental e de segurança que deve ser resolvido com ações de fiscalização.

Além disso, é necessária avaliação, junto ao poder público, acerca de construções dentro da área de preservação permanente do reservatório, conforme Figura 36, tendo em vista a preservação das características naturais da bacia e áreas de contribuição e a suscetibilidade de riscos provenientes de possíveis eventos extremos.

Figura 36 - Novas construções dentro da área de preservação permanente da barragem



Fonte: Autora.

Na Figura 37, podemos observar que o nível da água do reservatório em cota de sangria chega praticamente no nível da nova construção, uma vez que a mesma não foi constatada na vistoria de 2021 disponibilizada pelo empreendedor da barragem.

Figura 37 – Reservatório – Foto obtida com drone



Fonte: Autora.

- Região a Jusante da Barragem

A inspeção da região a jusante foi limitada pela densa vegetação e pelo acúmulo de água na base do vertedouro, que impediram o acesso adequado. Essas condições dificultaram a análise detalhada dessa área, não sendo possível identificar outras anomalias, o que exige a limpeza do local para a realização de uma nova inspeção. A Figura 38 apresenta a densa vegetação encontrada na região a jusante da barragem.

Figura 38 - Densa vegetação região a jusante da barragem – Foto registrada com drone



Fonte: Autora.

4.2. ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ATRAVÉS DO MODELO TRIDIMENSIONAL

A seguir, são apresentados os resultados obtidos a partir dos modelos tridimensionais gerados durante as duas visitas realizadas com mapeamento, incluindo a mensuração de algumas manifestações patológicas identificadas.

Para garantir a precisão das informações apresentadas, a Figura 39 e 40, ilustram uma análise e a validação dos dados coletados. Observa-se, por exemplo, que, conforme a medida aferida *in loco*, a crista da barragem possui 1,5 m de largura. Essa dimensão foi confirmada em ambos os mapeamentos realizados, validando a confiabilidade das mensurações obtidas a partir do modelo digital.

Figura 39 - Medida do coroamento - Mapeamento 09/12/23



Fonte: Autora.

Figura 40- Medida do coroamento - Mapeamento 29/06/24



Fonte: Autora.

Na análise inicial e na visualização dos ortomosaicos (Figuras 41 a 43), nota-se a presença de densa vegetação na área. Esse fator compromete a qualidade da inspeção e deve ser corrigido com a remoção da vegetação, permitindo a realização de novas inspeções e análises mais detalhadas dos pontos abordados neste trabalho.

Figura 41 - Ortomosaico - Mapeamento realizado em 09/12/2023



Fonte: Autora.

Figura 42 - Ortomosaico - Mapeamento realizado em 29/06/2024



Fonte: Autora.

Figura 43 - Google Earth em 09/10/2024



Fonte: Autora.

Para a análise das anomalias, seguiremos a mesma sequência apresentada no item 4.1 deste estudo.

- Paramento de Montante:

O paramento de montante foi observado através do mapeamento realizado durante a inspeção 01, quando a barragem apresentava um nível baixo de acumulação de água. Na visita 03, no entanto, a observação desse paramento não foi possível, pois a barragem encontrava-se em cota de sangria, o que impossibilitou a visualização.

Conforme ilustrado na Figura 44, pontua-se a dificuldade de uma análise detalhada do paramento de montante. Essa limitação deve ter ocorrido pela ausência de um voo vertical, o que comprometeu a qualidade dos dados obtidos e reforça a importância da realização de novos testes que possam proporcionar diretrizes de planejamento mais adequadas, permitindo voos com capturas de informações completas e precisas, especialmente em diferentes condições operacionais da barragem.

Figura 44 - Paramento de montante - Mapeamento 09/12/23



Fonte: Autora.

- Crista

Na crista da barragem, observa-se a ausência de guarda-corpo ao longo de toda a extensão. Além disso, a inexistência de iluminação, impossibilita a visibilidade adequada durante períodos noturnos ou condições de baixa luminosidade. Complementarmente, foi verificada a falta de placas de sinalização e segurança, indicando informações relevantes como restrições de acesso, direções, e avisos sobre possíveis riscos, de forma a assegurar a conformidade com as normas de segurança vigentes e a proteção de todos os usuários.

Com base nas mensurações obtidas a partir dos modelos tridimensionais, identifica-se as seguintes dimensões: 52 metros de comprimento para a crista lateral esquerda, 40 metros para o sangradouro e 58 metros para a lateral direita. A Figura 45 ilustra a crista da barragem no modelo 3D.

Figura 45 - Vista geral da crista da barragem - mapeamento 29/06/24



Fonte: Autora.

O Quadro 12 apresenta um levantamento do comprimento do coroamento para aplicação de guarda-corpos e postes de iluminação.

Quadro 13 - Quantitativo de materiais crista

Descrição	Unid.	Quant.
Aplicação de guarda-corpo	m	223,00
Postes de iluminação a cada 20 m	und	6,00

Fonte: Autora.

- Paramento de Jusante

No paramento de jusante, foi possível identificar e mensurar uma área média de 208 m² que necessitam de desmatamento vertical no barramento da barragem, permitindo um planejamento adequado para a remoção da vegetação e a posterior análise detalhada dessas regiões. A Figura 46 e 47 apresentam uma vista geral do paramento de jusante nos dois mapeamentos.

Figura 46 - Vista geral do paramento de jusante - Mapeamento 09/12/23



Fonte: Autora.

Figura 47 - Vista geral do paramento de jusante - Mapeamento 29/06/24



Fonte: Autora.

O mapeamento também proporcionou uma visão geral da presença de densa vegetação ao longo do paramento, o que dificultar as inspeções regulares. Além disso, foram identificados diversos pontos de infiltração ao longo do barramento, ressaltando a necessidade de intervenções imediatas para mitigar os riscos associados e preservar a funcionalidade e a segurança da estrutura.

- Sangradouro

Foi possível identificar e mensurar as áreas que necessitam da remoção de vegetação no sangradouro, obtendo uma área de 632 m² em média, uma medida essencial para garantir o acesso e a visibilidade adequadas durante as inspeções, a Figura 48 mostra a situação do barramento na visita de 29/06/2024. Além disso, foram observados vários pontos de infiltração ao longo da estrutura, indicando a necessidade de ações corretivas para prevenir danos adicionais à barragem. Também foram identificadas áreas com revestimento de argamassa comprometido, que requerem reparos para assegurar a integridade e a durabilidade do sistema de drenagem. Essas medidas são cruciais para a manutenção da segurança e funcionalidade da barragem.

Figura 48 - Área para remoção de vegetação do sangradouro



Fonte: Autora.

- Reservatório

A análise do reservatório não foi realizada, pois o mapeamento foi direcionado exclusivamente para o barramento da barragem. Essa delimitação no foco do levantamento restringiu a coleta de informações sobre o reservatório.

- Região a Jusante da Barragem

A análise possibilitou a identificação de um extenso plantio de bananeiras nas áreas adjacentes à barragem, o que pode representar um obstáculo para as inspeções regulares e potenciais riscos à estrutura, devido ao crescimento das raízes. Além disso, foi possível observar a presença de áreas inundadas a jusante da barragem, o que exige uma avaliação cuidadosa do sistema de drenagem e da necessidade de intervenções para evitar problemas relacionados a acúmulo excessivo de água e possíveis infiltrações. A Figura 49 mostra a área de plantio na região a jusante da barragem.

Figura 49 - Vista geral da região a jusante



Fonte: Autora.

4.3. SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA TRATAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As soluções e ações corretivas descritas neste trabalho estão fundamentadas nas diretrizes apresentadas nos manuais da ANA, conforme detalhado no item 2.4. Embora os manuais ofereçam orientações específicas para barragens de terra ou concreto, foi necessário adaptar essas recomendações para atender às particularidades da barragem de alvenaria de pedra analisada neste estudo. Para a análise das anomalias identificadas, será mantida a mesma sequência apresentada no item 4.1, assegurando a consistência metodológica e a clareza na exposição dos resultados.

- Paramento de Montante

Inicialmente, é fundamental avaliar as fissuras identificadas e verificar o grau de infiltração presente em cada uma delas. Com base nessa análise, será possível determinar a necessidade de refazer o revestimento em determinados pontos, tratando o substrato com

produtos impermeabilizantes ou a base epóxi, visando garantir a proteção e a durabilidade da estrutura.

- Crista

Para a crista da barragem, recomenda-se a instalação de guarda-corpos ao longo de toda a extensão, visando aumentar a segurança de trabalhadores e visitantes. Além disso, é essencial a instalação de placas de sinalização que informem restrições de acesso, medidas de segurança e orientações gerais. A aplicação de postes de iluminação também deve ser avaliada, especialmente em áreas de maior circulação ou em pontos críticos, garantindo a visibilidade noturna e melhorando as condições de operação.

Recomenda-se ainda a contratação de uma equipe especializada em georreferenciamento para realizar o cadastro técnico detalhado da barragem. Esse levantamento deve incluir a correção da cota da crista e do sangradouro, assegurando que as informações estejam devidamente alinhadas com os padrões técnicos e normativos. Essas medidas são fundamentais para aprimorar o controle e o monitoramento da estrutura, contribuindo para a segurança e a gestão eficiente da barragem.

- Paramento de Jusante

A remoção da vegetação existente é uma etapa preliminar indispensável para garantir a eficácia das inspeções e das intervenções subsequentes. Essa medida elimina barreiras visuais, facilita a identificação de manifestações patológicas e previne danos estruturais causados pelas raízes das plantas. Após essa etapa, é essencial realizar uma avaliação criteriosa das fissuras e dos pontos de infiltração, incluindo o monitoramento do fluxo de água em trechos específicos. É fundamental inspecionar cuidadosamente as juntas entre os blocos para identificar eventuais falhas estruturais. Caso sejam detectados problemas, recomenda-se a aplicação de injeções de resina epóxi, com o objetivo de vedar os pontos de infiltração e restaurar a estabilidade da estrutura.

A desobstrução dos drenos constitui uma medida de alta prioridade, sendo indispensável para restabelecer a funcionalidade do sistema de drenagem. Essa ação reduz a pressão interna causada pela água acumulada, contribuindo significativamente para a manutenção da integridade estrutural da barragem.

Adicionalmente, é necessário recuperar as áreas com revestimento comprometido, especialmente aquelas que apresentam deslocamento aparente da camada superficial. O processo deve incluir o descascamento controlado e criterioso da camada deteriorada, seguido pela aplicação de uma nova camada de argamassa de revestimento compatível, garantindo a resistência mecânica, a durabilidade e a proteção contra infiltrações.

Por fim, é imprescindível realizar uma análise detalhada do ponto de surgência de água identificado na lateral direita do paramento de jusante. Essa avaliação deve determinar com precisão se a água tem origem em infiltrações através do barramento ou se resulta de uma surgência natural sob a fundação da estrutura. Essa análise é essencial para orientar a adoção de medidas corretivas adequadas, considerando os impactos potenciais sobre a estabilidade e o desempenho hidráulico da barragem.

- Sangradouro

A remoção da vegetação existente é uma etapa inicial indispensável para assegurar a eficiência das inspeções e das intervenções subsequentes, eliminando barreiras visuais e potenciais causas de danos estruturais. Após essa etapa, é essencial proceder com a avaliação detalhada das fissuras e dos pontos de infiltração, incluindo o monitoramento do fluxo de água em trechos específicos, se necessário, aplicar injeções de resina epóxi, garantindo a vedação e a estabilidade da estrutura.

No sangradouro, é necessário realizar a recuperação das áreas com revestimento comprometido. Esse processo envolve o descascamento controlado da camada deteriorada, seguido da aplicação de uma nova camada de argamassa de revestimento compatível, que assegure a resistência e a durabilidade do sistema de escoamento.

- Reservatório

Recomenda-se a instalação de novas réguas de monitoramento para o controle preciso do nível de acumulação do reservatório. Essas réguas devem ser posicionadas em locais estratégicos, garantindo uma leitura clara e confiável das variações do nível da água, essencial para a gestão segura da barragem.

Além disso, é necessário realizar um levantamento batimétrico do reservatório, a fim de analisar o grau de assoreamento presente. Esse estudo permitirá a identificação de áreas críticas,

possibilitando a adoção de medidas de mitigação, como dragagem ou controle de sedimentos, para preservar a capacidade de armazenamento e a eficiência operacional da barragem.

Por fim, é fundamental avaliar as áreas de preservação permanente (APP) associadas ao entorno da barragem, assegurando o cumprimento das normas ambientais vigentes. Todas as ações devem ser alinhadas às orientações fornecidas pelos órgãos fiscalizadores, garantindo a proteção ambiental e a conformidade com as exigências legais.

- Região a Jusante da Barragem

É imprescindível eliminar as plantações de bananeiras existentes na área, uma vez que o pé do paramento de jusante deve permanecer desobstruído e de fácil acesso para a realização de inspeções regulares. A presença dessas plantações pode dificultar a identificação de possíveis anomalias, além de representar um risco à segurança estrutural devido à penetração das raízes no solo.

Adicionalmente, é fundamental esvaziar qualquer área de acúmulo de água localizada no pé do barramento. Essa medida é essencial para verificar locais de formação de pontos de infiltração ou surgências provenientes da fundação do barramento, que poderiam comprometer sua estabilidade. A remoção dessas acumulações deve ser realizada de forma contínua e acompanhada de uma análise criteriosa para identificar eventuais falhas no sistema de drenagem ou no próprio barramento.

A execução dessas ações deve, preferencialmente, ocorrer durante períodos de baixa do nível de água da barragem, condição que facilita a realização das correções necessárias, tornando os processos mais eficientes e seguros. Essa abordagem permite maior precisão na execução das intervenções, minimizando riscos e otimizando os resultados.

Quadro 14 - Resumo de manifestações patológicas identificadas

ELEMENTO INSPECIONADO	MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	AÇÕES CORRETIVAS SUGERIDAS
Paramento de Montante	Fissuras horizontais com colorações distintas.	Avaliar as fissuras identificadas e verificar o grau de infiltração presente em cada uma delas.
Crista	Falta de sinalização e elementos de segurança. Marco geodésico com cota que deve ser analisada sua veracidade.	Instalação de guarda-corpos, placas de sinalização, postes de iluminação para melhorar as condições de segurança da barragem. Contratação de uma equipe especializada em georreferenciamento para realizar o cadastro técnico detalhado da barragem.
Paramento de Jusante	Vegetação na estrutura, infiltrações, pontas de deslocamento de argamassa de revestimento, ponto de surgência, drenos obstruídos.	Remoção da vegetação existente e realização de nova inspeção, análise das fissuras, pontos de umidade e monitoramento do fluxo de água. A desobstrução dos drenos constitui uma medida de alta prioridade. Recuperar as áreas com revestimento comprometido e análise detalhada do ponto de surgência de água identificado na lateral direita do paramento de jusante.
Sangradouro	Fissuras mapeadas, vegetação na estrutura vertente, degradação da argamassa de revestimento, pontos de infiltração.	Remoção da vegetação existente e realização de nova inspeção, análise das fissuras. Recuperar as áreas com revestimento comprometido. Aplicar injeções de resina epóxi, garantindo a vedação e a estabilidade da estrutura.
Reservatório	Réguas danificadas, assoreamento do reservatório, novas construções na área de preservação permanente da barragem.	Recomenda-se a instalação de novas réguas de monitoramento. Realizar um levantamento batimétrico do reservatório, a fim de analisar o grau de assoreamento presente. Por fim, é fundamental avaliar as áreas de preservação permanente (APP) associadas ao entorno da barragem, assegurando o cumprimento das normas ambientais vigentes. Todas as ações devem ser alinhadas às orientações fornecidas pelos órgãos fiscalizadores, garantindo a proteção ambiental e a conformidade com as exigências legais.
Região a Jusante da Barragem	Limitação devido a densa presença de vegetação e acúmulo de água na base do vertedouro.	É imprescindível eliminar as plantações de bananeiras existentes na área, uma vez que o pé do paramento de jusante deve permanecer desobstruído e de fácil acesso para a realização de inspeções regulares. É fundamental esvaziar qualquer área de acúmulo de água localizada no pé do barramento. Essa medida é essencial para verificar locais de formação de pontos de infiltração ou surgências provenientes da fundação do barramento, que poderiam comprometer sua estabilidade.

Fonte: Autora.

5. CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados reforçam a necessidade de intervenções imediatas para mitigar os problemas identificados e garantir a segurança e funcionalidade da barragem, além de destacar a importância de manutenções regulares e monitoramento contínuo.

A inspeção da barragem Brejinho utilizando drones apresentou resultados satisfatórios, evidenciando a eficácia dessa tecnologia na avaliação de estruturas e áreas de difícil acesso. A aplicação da técnica permitiu maior agilidade na coleta de dados em campo, resultando em análises detalhadas e abrangentes. A integração de drones ao processo de inspeção revelou-se uma ferramenta poderosa, pois possibilita o registro de imagens de alta resolução e a geração de modelos tridimensionais, essenciais para a identificação de manifestações patológicas estruturais.

As principais manifestações patológicas identificadas na barragem foram fissuras, presença de vegetação e sinais de umidade, decorrentes de problemas nas juntas de argamassa do barramento, sendo imprescindível tratá-las com soluções adequadas. As intervenções recomendadas foram baseadas em diretrizes de órgãos fiscalizadores, que orientam sobre os métodos corretivos mais apropriados para diferentes tipos de barragens, independentemente do uso ou material de construção.

Algumas limitações foram observadas no cumprimento do objetivo específico de propor soluções corretivas para as manifestações patológicas identificadas. A dificuldade de acesso a áreas críticas da barragem, aliada à necessidade de estudos mais aprofundados e à realização de ensaios tecnológicos, inviabilizou a consolidação de um projeto de recuperação com diretrizes metodológicas bem definidas, planilha de materiais e quantitativos precisos. Além disso, a escassez de referências específicas sobre a recuperação de barragens de alvenaria de pedra dificultou a definição de parâmetros técnicos mais detalhados, evidenciando uma lacuna na literatura e nas normativas existentes. Esses desafios reforçam a importância de pesquisas voltadas para a manutenção e reabilitação desse tipo de estrutura, permitindo o desenvolvimento de diretrizes mais adequadas e aplicáveis a diferentes configurações construtivas.

O uso de drones mostrou-se especialmente vantajoso para o monitoramento e registro de manifestações patológicas em áreas de difícil acesso. Essa tecnologia não apenas otimiza o

tempo e os custos operacionais, mas também amplia a precisão na identificação de manifestações patológicas, garantindo um diagnóstico mais confiável. A capacidade de registrar imagens de diferentes perspectivas, contribui para a criação de um histórico robusto de inspeção, essencial para a manutenção preventiva e corretiva.

Conclui-se que a incorporação de drones no processo de inspeção de barragens é uma prática recomendável, pois alia eficiência operacional e inovação tecnológica. Principalmente ao permitir visualizar locais inacessíveis devido às limitações encontradas, os resultados obtidos no presente estudo reforçam o potencial dessa ferramenta como suporte técnico para o gerenciamento de barragens.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de voos verticais com drones, visando a obtenção de modelos tridimensionais com maior precisão geométrica, possibilitando uma Ground Sample Distance (GSD) menor. Essa abordagem permitiria análises mais detalhadas, como a mensuração precisa de profundidades de fissuras, proporcionando informações essenciais para a avaliação estrutural de barragens. A integração dessa técnica com outros métodos de levantamento pode aumentar a confiabilidade dos dados obtidos, contribuindo para a identificação e monitoramento de anomalias críticas.

Além disso, recomenda-se o uso de pontos de apoio coletados com receptores GNSS RTK para o georreferenciamento dos produtos gerados. Essa técnica pode aprimorar significativamente a precisão espacial dos modelos 3D e ortomosaicos, garantindo que os dados estejam alinhados a sistemas de referência globais. A combinação de drones com câmeras de alta resolução e equipamentos GNSS avançados tem potencial para oferecer uma visão abrangente da estrutura inspecionada, otimizando o planejamento e a execução de intervenções corretivas.

Outra possibilidade é a aplicação de sensores termográficos embarcados em drones, especialmente para identificar áreas com maior concentração de umidade no paramento de jusante da barragem. Essa abordagem permitiria a detecção precoce de infiltrações, uma das principais causas de instabilidades em barragens. Adicionalmente, recomenda-se o estudo comparativo de múltiplas barragens, correlacionando as anomalias observadas com soluções aplicadas. Isso possibilitaria a criação de uma base de dados consolidada sobre manifestações

patológicas recorrentes e técnicas corretivas eficazes, contribuindo para o avanço no campo da engenharia de barragens.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Instruções para apresentação do Plano de Segurança da Barragem. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume I.** Brasília: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II: Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem.** Brasília, 2016a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume VII: Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens.** Brasília, 2016b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Resolução nº 236, de 7 de agosto de 2017.** Estabelece critérios para a classificação de barragens quanto ao risco, dano potencial associado e categoria de segurança. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2020a.** Brasília: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2023.** Brasília: ANA, 2024.

ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS (ASDSO). **Internal Erosion of Earth Dams.** ASDSO: 2021. Disponível em: <https://damsafety-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/files/2021_Internal%20Erosion%20of%20Earth%20Dams.pdf>. Acesso 12/01/2025.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 set. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em: 10/12/2024.

BRASIL. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012.** Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da

Lei nº 12.334/2010. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 set. 2012. Disponível em: [resolucao-cnrh-144-2012.pdf](#). Acesso em: 10/12/2024.

BRASIL. **Relatório de segurança de barragens 2015**. Brasília: ANA, 2016a. ISBN: 978-85-8210-035-6.

BRASIL. **Relatório de segurança de barragens 2018**. Brasília: ANA, 2019.

BUFFI, Giulia; MANCIOLA, Piergiorgio; GRASSI, Silvia; BARBERINI, Marco; GAMBI, Andrea. **Levantamento da barragem de Ridracoli: fotogrametria baseada em VANT e técnicas topográficas tradicionais na inspeção de estruturas verticais**. Geomatics, Natural Hazards and Risk, v. 8, n. 2, p. 1562-1579, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1362039>.

CARREGA, Susana. **Avaliação da segurança de uma barragem de gravidade de alvenaria do século XVIII: Estudo de caso em Borba, Portugal**. [Dissertação ou Tese]. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2018. Disponível em: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067125910/Dissertacao_Susana_Carrega_FINAL_comanexo.pdf. Acesso em: 12 jan. 2025.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA. **Relatório de Inspeção de Segurança Regular da Barragem de Brejinho**. Triunfo, PE, 30 dez. 2021.

COURA, M.M. **Aplicação de métodos geoeletricos para análise da estabilidade de barragens de terra**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Instituto De Geociências E Ciências Exatas, Rio Claro, São Paulo, 2019.

DAM SAFETY GUIDELINES (DSS). **Province of British Columbia, Water management branch. Dam safety guidelines – Inspection and maintenance of dams**. Versão 3, 2016.

DJI. Mavic 2 PRO. **Especificações**. DJI: 2020. Disponível em: <https://www.dji.com/br/support/product/mavic-2>. Acesso em 10/01/2025.

DJI. Mavic AIR 2S. **Especificações**. DJI: 2021. Disponível em: <https://www.dji.com/br/support/product/air-2s>. Acesso em 10/01/2025.

FERNANDES, Daladier Oliveira. **Estudo da segurança em barragens de alvenaria: análise de desempenho de barragens históricas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)

- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/27483>. Acesso em: 12 jan. 2025.

GORKOS, Paola. **Potencial de uso de drones em inspeções de barragens: estudo de caso da barragem dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim e barragem Rodolfo da Costa e Silva**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

Jansen, R. B. (1983). **Dams and Public Safety: A Water Resources Technical Publication**. Denver: U. S. Department of the Interior - Bureau of Reclamation.

LIMA, Cícero Rodrigo Delfino de. **Análise econômica de uma barragem em alvenaria de pedra no município de Gravatá, Pernambuco**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/48429>. Acesso em: 12 jan. 2025.

LIMA, G.M.; ALMEIDA, A.G.J.A. **Inspeção técnica: estudo de caso da barragem pau ferro localizada na zona da mata sul de Pernambuco**. 2023. Revista de Engenharia e Tecnologia, 2023.

KHALOO, A.; LATTANZI, D.; JACHIMOWICZ, A.; DEVANEY, C. **Utilizing UAV and 3D Computer Vision for Visual Inspection of a Large Gravity Dam**. Frontiers in Built Environment, v. 4, n. 31, 2018.

SOUZA, M. M. **Estudo para projeto geotécnico da barragem de Alto Irani**. 2013. 129f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB). **ArcGIS Web Application**. 2025. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html>. Acesso em 09/01/2025.

ANEXO A – FICHA DE INSPEÇÃO

FICHA PARA INSPEÇÃO REGULAR DE BARRAGEM DE ALVENARIA DE PEDRA

DADOS GERAIS - CONDIÇÃO ATUAL		
1 – Nome da Barragem:	Barragem Brejinho	
2 – Coordenadas:	7°51'52.19" S 38°7'9.8" O	Datum: WGS84
3 – Município/Estado:	Triunfo/PE	
4 – Vistoriado Por:	Monike Marques (Autora do TCC)	Assinatura:
5 – Cargo:	Estudante de Engenharia Civil	
6 – Data da Vistoria:	29/06/2024	Vistoria N.º: 01/2024
7 – Cota atual do nível d'água:	421 (Cota de Sangria)	
8 – Bacia:	Rio Pajeú	Curso d'água barrado: Riacho do Brejo
9 – Empreendedor:	COMPESA	
10 – Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB):	ALERTA	

Legenda:

SITUAÇÃO:	MAGNITUDE:	NÍVEL DE PERIGO DA ANOMALIA (NPA)
NA – Este item Não é Aplicável	I - Insignificante	0 - Nenhum
NE – Anomalia Não Existente	P - Pequena	1- Atenção
PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez	M - Média	2- Alerta
DS – Anomalia Desapareceu	G- Grande	3- Emergência
DI – Anomalia Diminuiu		
PC – Anomalia Permaneceu Constante		
AU – Anomalia Aumentou		
NI – Este item Não foi Inspeccionado (Justificar)		

SITUAÇÃO:

NA – Este item Não é Aplicável: O item examinado não é pertinente à barragem que esteja sendo inspecionada.

NE – Anomalia Não Existente: Quando não existe nenhuma anomalia em relação ao item que esteja sendo examinado.

PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez: Quando da visita à barragem, aquela anomalia for constatada pela primeira vez, não havendo indicação de sua ocorrência nas inspeções anteriores.

DS – Anomalia Desapareceu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia verificada na inspeção anterior não mais esteja ocorrendo.

DI – Anomalia Diminuiu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com menor intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

PC – Anomalia Permaneceu Constante: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com igual intensidade ou a mesma dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

AU – Anomalia Aumentou: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com maior intensidade, ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, capaz de ser percebida pela inspeção ou informada pela pessoa responsável pela barragem.

NI – Este item Não foi Inspeccionado: Quando um determinado aspecto da barragem deveria ser examinado e por motivos alheios à pessoa que esteja inspecionando a barragem, a inspeção não foi realizada.

MAGNITUDE:

I - Insignificante: Anomalia de pequenas dimensões, sem aparente evolução;

P - Pequena: Anomalia de pequena dimensão, com evolução ao longo do tempo.

M - Média: Anomalia de média dimensão, sem aparente evolução.

G - Grande: Anomalia de média dimensão, com evidente evolução, ou anomalia de grande dimensão.

NÍVEL DE PERIGO DA ANOMALIA - NPA:

0 - Normal: quando determinada anomalia não compromete a segurança da barragem;

1 - Atenção: quando determinada anomalia não compromete de imediato a segurança da barragem, mas, caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada;

2 - Alerta: quando determinada anomalia compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para a sua eliminação;

3 - Emergência: quando determinada anomalia representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

NÍVEL DE PERIGO GLOBAL DA BARRAGEM - NPGB:

0- Normal: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem.

1- Atenção: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada.

2- Alerta: quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las.

3- Emergência: quando o efeito conjugado das anomalias representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

O NPGB será no mínimo igual ao NPA de maior gravidade, devendo, no que couber, estar compatibilizado com o Nível de Resposta previsto no artigo 27 da Res ANA 236/2017.

A.	INFRAESTRUTURA OPERACIONAL	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Falta de documentação sobre barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Falta de material para manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Falta de treinamento do pessoal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
4	Precariedade de acesso de veículos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
5	Falta de energia elétrica	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Falta de sistema de comunicação eficiente	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
7	Falta ou deficiência de cercas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
9	Falta de acompanhamento da Gerência Regional	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Falta de manuais de operação e manutenção dos equipamentos Hidromecânicos e elétricos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1

Comentários:

A barragem não possui documentação (manuais ou projetos), ausência de comunicação eficiente, como também falta de cercar de proteção e placas de aviso.

B.	BARRAGEM	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.1	PARAMENTO DE MONTANTE	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Presença de vegetação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Ocorrência de fissuras e rachaduras na alvenaria de pedra	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
4	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Juntas de dilatação danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentário:

3 – Presença de grandes fissuras horizontais no paramento de montante.

B.2	CRISTA / COROAMENTO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Movimentos diferenciais entre blocos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Ocorrência de fissuras no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
5	Juntas de dilatação danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Corrosão no parapeito (guarda-corpo)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Corrosão nos postes de iluminação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Corrosão no pórtico	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

2 e 4 – Presença de fissuras mapeada e descolamento da argamassa em alguns trechos da crista da barragem.

Não existe guarda-corpo nem iluminação na barragem.

B.3	PARAMENTO DE JUSANTE	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Presença de vegetação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Ocorrência de fissuras e rachaduras na alvenaria de pedra	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
3	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deterioração da superfície do concreto/rocha	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
5	Juntas de dilatação danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Sinais de percolação ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
7	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
8	Vazão nos drenos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1

Comentários aos itens:

- 1 – Presença de densa vegetação ao paramento de jusante, inclusive árvores frutíferas, principalmente bananeiras.
 2 e 4 – Percolação de água nas rachaduras iniciando um processo de descolamento da argamassa em alguns pontos.
 6 – Diversas surgências de água e áreas úmidas no paramento de jusante.
 8 – Drenos obstruídos ou parcialmente obstruídos.

Foi identificado um volume elevado de percolação de água pela barragem, culminando na formação de um pequeno barramento a jusante para captação dessa água. Essa configuração apresenta risco significativo para a estabilidade estrutural e funcional da barragem, além de inviabilizar a inspeção adequada da fundação do barramento e de eventuais surgências de água.

B.4	ESTRUTURA VERTENTE	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Fissuras e/ou rachaduras na alvenaria de pedra	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
4	Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Juntas de dilatação danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Sinais de deslocamentos das estruturas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Sinais de percolação ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
8	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
9	Vazão nos drenos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Rachaduras nos muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Erosão nos muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Deterioração da superfície do concreto dos muros	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
13	Ocorrência de buracos na soleira	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
14	Presença de entulho na bacia de dissipação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
15	Presença de vegetação na bacia de dissipação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
16	Erosão na base dos canais (área de restituição)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

- 1 e 3 – Presença de fissuras, inclusive com crescimento de vegetação nessas e percolação de água.
 7 – Diversos sinais de percolação de água e áreas úmidas.
 8 e 9 – Drenos parcialmente obstruídos e com sinais de carreamento de material.
 13 – Presença de descolamento da argamassa na soleira do vertedouro.
 4, 14, 15, 16 – Devido acúmulo de água e presença excessiva de vegetação não foi possível inspecionar.

B.5	GALERIA DE INPEÇÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Indicação de movimentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Surgências de água no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Rachaduras ou trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Deterioração do portão de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Deterioração da instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Drenos obstruídos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Precariedade de acesso à galeria	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Falta de manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
13	Falta de iluminação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
14	Defeito nas instalações elétricas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
15	Falta de ventilação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
16	Presença de pedras, lixo dentro da galeria	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
17	Sinais de percolação ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
18	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
19	Vazão nos drenos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

20	Vazão elevada nos drenos de alívio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários aos itens: Não se aplica para barragem em questão.														
B.6	INSTRUMENTAÇÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Marcos de referência danificados	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Medidores de vazão defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Outros instrumentos danificados	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Falta de instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
7	Falta de registro de leituras da instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários: 3 – Foram encontrados 02 marcos de referência fixados na crista da ombreira esquerda. 6 – Falta de instrumentação na barragem.														
C.	SANGRADOURO/VERTEDOURO													
C.1	CANAIS DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Presença de vegetação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Obstrução ou entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Desalinhamento dos taludes e muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosões ou escorregamentos nos taludes laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Erosão na base dos canais escavados	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Erosão na área à jusante do sangradouro	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Construções irregulares	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários aos itens: Devido a presença excessiva de água e vegetação a jusante do barramento.														
C.2	ESTRUTURA VERTENTE	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Rachaduras ou trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
4	Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Juntas de dilatação danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Sinais de deslocamentos das estruturas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Rachaduras nos muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Erosão nos contatos dos muros	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Sinais de percolação ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
10	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
11	Vazão nos drenos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
12	Deterioração da superfície do concreto dos muros	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários aos itens: 1 e 3 – Presença de fissuras, inclusive com crescimento de vegetação nessas e percolação de água. 9, 10 e 11 – Drenos parcialmente obstruídos e com sinais de carreamento de material. 4 – Devido acúmulo de água e presença excessiva de vegetação não foi possível inspecionar.														

C.3	RÁPIDO/ BACIA AMORTECEDORA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Peças fixas (corrosão, amassamento da guia e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Estrutura (corrosão, amassamento e falha na pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Defeito das vedações (vazamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Defeito das rodas (comporta vagão)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Defeitos nos rolamentos, buchas e retentores.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

6	Defeito no ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														
A barragem não possui bacia dissipadora.														
C.4	MUROS LATERAIS	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Erosão na fundação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Erosão nos contatos dos muros	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rachaduras no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentário:														
Não se aplica para barragem em questão.														
C.5	RÁPIDO/ BACIA AMORTECEDORA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Rachaduras ou trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Defeito das vedações (vazamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Ocorrência de buracos na soleira	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Erosão	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Falha no enrocamento de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Presença de vegetação na bacia	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														
D.	TOMADA D'ÁGUA													
D.1.	ACIONAMENTO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Hastes (travada no mancal, corrosão e empenamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Base dos mancais (corrosão, falta de chumbadores)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Corrosão nos mancais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Falhas nos chumbadores, lubrificação e pintura do pedestal.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de indicador de abertura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Falta de volante	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														
D.2	COMPORTAS	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Peças fixas (corrosão, amassamento, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Estrutura da comporta (corrosão, amassamento, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Defeito das vedações (vazamento)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Defeito das rodas (comporta vagão, se aplicável)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Defeitos nos rolamentos ou buchas e retentores	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Defeito no ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentário:														
D.3	POÇO ACIONAMENTO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Falta de guarda corpo na escada de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Deterioração do guarda corpo na escada de acesso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração da tampa de acesso ao abrigo	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deterioração da tubulação de aeração e "by-pass"	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Deterioração da instalação de controle (pedestal)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

D.4.	BOCA DE ENTRADA E 'STOP-LOG'	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Obstrução e entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Ferragem exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deterioração na superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de grade de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Defeito na grade	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Peças fixas (corrosão, amassamento, pintura)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Estrutura do "stop-log" (idem)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Defeito no acionamento do "stop-log"	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Defeito no ponto de içamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

D.5	GALERIA DE TOMADA D'ÁGUA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Corrosão e vazamentos na tubulação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Sinais de abrasão ou cavitação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Defeitos nas juntas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Deformação do conduto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Desalinhamento do conduto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Vazamento nos dispositivos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

D.6	ESTRUTURAS DE SAÍDA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Corrosão e vazamentos na tubulação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Ruídos estranhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Defeitos nos dispositivos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Trincas ou surgências de água no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Precariedade de acesso (árvores e arbustos)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Vazamento nos dispositivos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Construções irregulares à jusante	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Falta de drenagem da caixa de válvulas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
9	Presença de entulho dentro da caixa de válvulas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Defeitos na cerca de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0

Comentários:

1, 6 e 8 – Foi observado vazamentos que permitiu observar também a falta de drenagem nas caixas de válvulas.

5 – Precariedade de acesso, a inspeção foi realizada com uso de drone.

10 – Inexistência de cerca de proteção.

E.	RESERVATÓRIO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Réguas danificadas ou faltando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Construções em áreas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
3	Poluição por esgoto, lixo, pesticidas etc.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Indícios de má qualidade d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
6	Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Desmoronamento das margens	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Existência de vegetação aquática excessiva	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Desmatamentos na área de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
10	Presença de animais e peixes mortos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Animais pastando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

1 – Faltando algumas réguas.

2 – Foi observado novas construções em áreas de proteção.

5, 6 e 9 – Assoreamento do reservatório e erosões, como também plantações dentro da área de inundação do reservatório.

F.	REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Sinais de movimentos na rocha de fundação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Desintegração / Decomposição da rocha	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Piping nas juntas rochosas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Construções irregulares próximas ao leito do rio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Fuga d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Árvores e arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários aos itens:

5 – Excessiva presença de fuga de água na ombreira direita da barragem.

6 – Excessiva quantidade de água parada e vegetação a jusante da barragem que não permitiu a inspeção da área nas partes mais baixas.

G.	MEDIDOR DE VAZÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Ausência da placa medidora de vazão	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Corrosão da placa	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Defeitos no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Falta de escala de leitura de vazão	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Assoreamento da câmara de medição	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Erosão à jusante do medidor	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

Não existe sistema de medição de vazão.

J. OUTROS PROBLEMAS EXISTENTES

Estrada em bom estado, mas estreita, obrigando um dos veículos a ceder passagem, encostando na vegetação lateral ou retornando até um ponto mais amplo.

Não foram realizados estudos quanto à estabilidade da barragem, nem tão pouco se iniciou o monitoramento dos parâmetros necessários a que se possa verificar o comportamento da barragem ao longo do tempo.

Não foram inspecionados os equipamentos hidromecânicos quanto a seu estado de funcionamento, recomenda-se verificar os mesmos através de uma inspeção após limpeza da região a jusante da barragem.

K. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

INFRAESTRUTURA OPERACIONAL

Recomenda-se a realização de novo levantamento topográfico, estudos geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos para caracterizar a estrutura da barragem e sua fundação, considerando que a COMPESA não possui os projetos originais, o as built ou manuais de operação da barragem.

Instalar iluminação e alimentação de energia no coroamento, com sistema de comutação normal/emergência, permitindo a escolha entre alimentação pela rede elétrica ou por gerador de emergência.

Elaborar o Plano de Segurança da Barragem (PSB).

PARAMETRO DE MONTANTE

Contratar empresa especializada para a recuperação da camada de revestimento da barragem, além do tratamento de fissuras paramento de montante.

CRISTA / COROAMENTO

Instalar dispositivos de sinalização e segurança, como guarda-corpos sobre a crista e placas de sinalização.

Contratar empresa especializada para a recuperação da camada de revestimento da barragem.

Corrigir a divergência de informações sobre o nível da crista da barragem em relação ao PE3D. Foi implantado um marco com a cota 422,515m (foto xx), mas a cota correta está em torno de 909m.

PARAMETRO DE JUSANTE

Remover a vegetação presente em fissuras com umidade, utilizando jatos de água em alguns casos.

Contratar empresa especializada para a recuperação da camada de revestimento do paramento de jusante, tratamento das fissuras e possível injeção de material nas regiões com surgências.

Desobstruir os drenos de controle localizados no paramento de jusante, que atualmente estão bloqueados.

SANGRADOURO

Contratar empresa especializada para a recuperação da camada de revestimento, tratamento das fissuras e, se necessário, injeção de material nas áreas com surgências.

Remover a vegetação para possibilitar a inspeção de fissuras, umidade e surgências.

RESERVATÓRIO

Instalar novas réguas no reservatório e realizar monitoramento contínuo do nível da água.

Executar a batimetria do leito do rio para avaliar o nível de assoreamento.

Recuperar a tubulação de descarga e de tomada d'água, substituindo as válvulas de controle atualmente inoperantes. Remover cultivos e qualquer ocupação na área de inundação da barragem e nas áreas de preservação permanente.

REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM

Realizar a limpeza e remoção de vegetação, árvores e arbustos na região das ombreiras e na faixa de segurança da barragem, com avaliação detalhada das áreas afetadas por raízes.

Esvaziar a área inundada a jusante da barragem e contratar equipe especializada para análise detalhada da percolação, incluindo:

- Inspeção visual, instrumentação (piezômetros, medidores de vazão) e ensaios geotécnicos para identificar a origem e impacto do fluxo de água.
- Determinar a capacidade de drenagem atual e avaliar sistemas de alívio de pressão, como drenos de pé ou filtros, verificando se precisam de melhorias ou substituições.
- Analisar a necessidade de reforçar a barragem principal, utilizando técnicas como injeções de argamassa ou resinas para garantir que a interface barragem/fundação esteja livre de material solto e bem compactada, minimizando infiltrações.

Observações importantes:

1) A Magnitude e o Nível de Perigo somente deverão ser preenchidos quando a situação do item for PV, DI, PC e AU.

2) Tratando-se da primeira inspeção de uma barragem, as situações escolhidas devem ser NA, NE, PV e NI. Quando o técnico basear-se em conhecimento próprio ou de terceiros para informar as situações DI, DS, PC ou AU, deve haver esclarecimento por meio do preenchimento do espaço reservado para comentários e como este conhecimento foi obtido.