



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EMMANUEL SILVA BATISTA

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DE UMA BARRAGEM: Estudo de Caso no
Agreste de Pernambuco**

Caruaru

2023

EMMANUEL SILVA BATISTA

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DE UMA BARRAGEM: Estudo de Caso no
Agreste de Pernambuco**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Caruaru

2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Antônio Valderês Batista e Maria Marluce da Silva, pelo amor incondicional, por me ensinarem a fazer o certo e não o mais fácil, e por todo o suporte necessário para alcançar essa conquista. À minha irmã, Emanuelle Silva Batista, minha cúmplice de muitas aventuras, por escutar meus tantos desabafos sobre a graduação. À minha companheira de vida, Raíssa Grazielle Aguiar Lima de Siqueira, por todo o amor, companheirismo e cumplicidade que me dá forças para completar essa jornada. E também ao meu filhote, Pirriço, pelos sorrisos e lindos momentos proporcionados.

Aos meus companheiros de luta, Erik, Ítalo e Vinícius, que compartilharam comigo os perrengues e, só por termos os enfrentados juntos, se tornaram momentos especiais.

Aos meus professores, com destaque para José Moura e Saulo de Tarso. Que, cada um com sua importância, tornaram minha graduação uma lição de evolução pessoal e profissional.

Por último, mas não menos importante, aos meus amigos Douglas Júnio, Lucas Piasentin, Thomas Haag e Yan Quini, pelos grandes momentos e gargalhadas compartilhadas, e por me mostrarem que, independentemente da distância, pode-se fazer grandes amigos para a vida.

Análise das condições físicas de uma barragem: Estudo de caso no Agreste de Pernambuco

Analysis of the physical conditions of a dam: A case study in the Agreste of Pernambuco

Emmanuel Silva Batista¹

RESUMO

A construção de barragens sempre foi de fundamental importância para o progresso do ser humano. Além da capacidade de armazenamento de água, as barragens possuem uma grande importância na regularização de vazões, possibilitando o abastecimento regular e evitando cheias nos rios à jusante. Assim como é importante a construção, é extremamente vital garantir a máxima funcionalidade da barragem, de modo que as anomalias que surgem com o passar do tempo não interfira na sua operação e segurança. Para evitar que tais anomalias interfiram no funcionamento da barragem, faz-se necessária a realização de inspeções da sua segurança e, caso necessário, a indicação das possíveis causas e soluções dos problemas. Casos recentes de rompimento de barragens, como os acontecidos em Minas Gerais, Mariana, em 2015, e Brumadinho, em 2019, apresentaram uma elevada perda humana e ambiental, o que reforça a realização sistemática de inspeções e monitoramentos das condições do seu estado. Para a inspeção da Barragem de Jucazinho, utilizou-se a ficha de inspeção regular para barragens de concreto fornecida pela Associação Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Durante a inspeção, foram identificadas diversas anomalias em todas as regiões da barragem, algumas delas de natureza mais simples, enquanto outras apresentavam complexidades na sua resolução. No entanto, independentemente da magnitude das anomalias, foram propostas medidas para solucionar tais problemas. Com base nisso, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as condições da Barragem de Jucazinho e sugerir medidas para aprimorar a segurança de sua estrutura.

Palavras-chave: inspeção de barragens; anomalias em barragens; Jucazinho.

ABSTRACT

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: emmanuel.batista@ufpe.br

The construction of dams has always been extremely important for the progress of the human being. In addition to the water storage capacity, dams have a great importance in the regularization of flows, enabling regular supply and avoiding flooding in downstream rivers. Just as construction is important, it is extremely vital to ensure maximum functionality of the dam, so that anomalies that arise over time do not interfere in its operation and safety. In order to prevent such anomalies from interfering the operation of the dam, it is necessary to carry out inspections of its safety and, if necessary, an indication of the possible causes and solutions for the problems. Recent cases of dam failures, such as those in Minas Gerais, Mariana, in 2015, and Brumadinho, in 2019, presented a high human and environmental loss, which reinforces the realization of systematic inspections and monitoring its conditions. For the inspection of Jucazinho Dam, the regular inspection form for concrete dams provided by the Water and Weather Pernambuco Association (APAC) was used. During the inspection, several anomalies were identified in all regions of the dam, some simpler than other ones, which presented complexities in their resolution. However, regardless of the magnitude of the anomalies, measures have been proposed to solve these problems. Based on this, the objective of this work was to verify the conditions of the Jucazinho Dam and propose measures to improve the safety of its structure.

Keywords: dam inspection; anomalies in dams; Jucazinho.

DATA DE APROVAÇÃO: 06 de outubro de 2023.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, seu desenvolvimento e também a imprevisibilidade dos fenômenos climáticos fizeram com que surgisse a necessidade do ser humano criar algumas formas de armazenamento de água, sendo uma delas a barragem. Segundo Bezerra e Cheung (2013), o aumento da demanda hídrica tem sido bem maior que a curva de crescimento populacional, o que tem levado a reflexões sobre a vulnerabilidade, os diversos efeitos da má distribuição e a natureza finita deste recurso natural.

A mais antiga barragem do Brasil que se tem notícia foi construída onde é hoje área urbana de Recife, PE, possivelmente no final do Século XVI, antes mesmo da invasão holandesa (CBDB, 2011). Já para Oliveira (2018), a primeira barragem do Brasil, foi a barragem do

Ribeirão do Inferno no rio Jequitinhonha em Minas Gerais, edificada em 1883 para fornecer energia para uma mina de extração de diamantes.

As barragens têm uma ampla gama de usos, incluindo o fornecimento de água para consumo humano, irrigação, recreação e produção de energia. Além disso, elas desempenham um papel fundamental na regulação dos recursos hídricos de uma determinada região. Essas estruturas têm a capacidade de controlar e armazenar as vazões durante os períodos de cheia, permitindo sua distribuição posterior à população nos períodos de estiagem. Porém, segundo Fernandes (2020), embora a construção de uma barragem apresente inúmeros benefícios, esta, independente da sua capacidade de volume de armazenamento, oferece um certo risco para a região à jusante.

O crescimento desordenado e acelerado das cidades em conjunto com os níveis de desigualdade social levaram, ao longo dos anos, a ocupação de áreas de risco considerável, como as localizadas nas manchas de inundação de barragens. Quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação nas áreas inundáveis (Tucci, 1993).

De acordo com o Art. 5º da Resolução N° 143, de 10 de julho de 2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que trata da classificação das barragens quanto a sua categoria de risco, dano potencial associado e volume reservado, o principal fator para que uma barragem seja considerada de alto dano potencial associado é a existência de população à jusante com potencial de perda de vidas humanas.

Casos recentes de rompimento de barragens como os acontecidos nas cidades mineiras de Mariana, em 2015, e Brumadinho, em 2019, apresentaram uma grande perda humana e ambiental, reforçando a necessidade de constantes inspeções e monitoramentos das condições de estado das barragens.

A Barragem de Jucazinho, situada no município de Surubim, na região do Agreste Pernambucano, destaca-se como a maior em capacidade de armazenamento na região, com um total de, aproximadamente, 205 milhões de metros cúbicos. Sua importância é ainda mais evidente devido ao seu papel vital no abastecimento de municípios cruciais para a economia local, como Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, cidades reconhecidas como os principais polos de confecção do estado, desempenhando um papel de destaque na indústria têxtil regional.

O órgão fiscalizador responsável pela construção, manutenção e operação de infraestruturas hídricas da barragem é o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), criado em 1909, inicialmente como a Inspeção de Obras Contra as Secas (IOCS). Posteriormente, ao

longo dos anos, passou por várias transformações e se tornou o DNOCS, uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional, com a missão de combater os efeitos das secas e promover o desenvolvimento sustentável nas regiões semiáridas do Brasil.

A estrutura da Barragem de Jucazinho é de concreto compactado a rolo (CCR), o qual oferece várias vantagens em comparação com o concreto convencional, incluindo: facilidade de aplicação, redução do tempo de construção e uma diminuição de 30% a 60% no consumo de cimento. Quanto à hidrologia, a estrutura está situada na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, que se estende por cerca de 6.429 km², cujo rio principal tem sua nascente na Serra de Jacarará, no município de Poção-PE, fluindo em direção ao oceano e desaguando na costa de Pernambuco.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi verificar as condições da Barragem de Jucazinho e propor medidas para melhorar a segurança da sua estrutura.

2 METODOLOGIA

Por se tratar de uma barragem construída de concreto compactado a rolo, a inspeção visual da barragem Jucazinho foi realizada com o auxílio da ficha modelo de inspeção regular de barragem de concreto, fornecida pela APAC.

Foram analisados os tópicos mais importantes da ficha, classificando as anomalias existentes quanto a sua situação, magnitude e nível de perigo. Para obter maiores informações acerca de coordenadas, altitude, data e horário das fotos, foi utilizado o aplicativo Photostamp Camera.

2.1 Área de estudo

A Barragem Jucazinho, cuja localização está disposta na Figura 1, foi construída em 1998 e é uma das maiores e mais importantes barragens do Agreste Pernambucano. Esta é majoritariamente usada para o abastecimento humano, abastecendo, segundo informações fornecidas em 2017 pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), as cidades de Santa Cruz do Capibaribe, Riacho das Almas, Cumaru, Passira, Salgadinho, Casinhas, Surubim, Vertentes, Vertente do Lério, Santa Maria do Cambucá, Frei Miguelinho, Toritama, Caruaru, Bezerros e Gravatá, além de diversos distritos e povoados dos 15 municípios que fazem parte do sistema integrado.

Figura 1 - Localização da barragem Jucazinho

Fonte: Google Earth (2022)

Ainda de acordo com a COMPESA, a capacidade de produção da barragem é de 1.300 litros por segundo, atendendo a uma população de aproximadamente 800 mil pessoas ao longo de seus 206 quilômetros de adutoras. A Tabela 1 mostra outros dados relacionados à barragem.

Tabela 1 – Dados da barragem Jucazinho

Nome	Dimensão	Unidade
Código SNISB	7805	-
Bacia Hidrográfica	Capibaribe	-
Material	Concreto Rolado	-
Latitude	07° 57' 59,39'' S	-
Longitude	35° 44' 3,16'' W	-
Nível de Perigo	Atenção	-
Classificação de Risco	Alto	-
Dano Potencial Associado	Alto	-
Altura	63,200	m
Volume Útil	204,820	hm ³
Cota do coroamento	299,000	m
Extensão do coroamento	442,000	m
Cota do vertedor principal	292,000	m
Extensão do vertedor principal	170,000	m

Fonte: Adaptado de SNISB (2019)

Apesar do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) informar a capacidade de armazenamento de 327,036 hm³, de acordo com o Relatório de Análise de Impacto Regulatório publicado em 2020 pela Agência Nacional das Águas e

Saneamento Básico (ANA), esse valor foi revisado, por topobatimetria, para 204,820 hm³, uma redução de aproximadamente 37%. A nova capacidade do reservatório foi confirmada em estudo realizado com a base de dados espaciais PE3D, que é o mapeamento aerofotogramétrico de todo território do estado de Pernambuco.

2.2 Parâmetros de mensuração das anomalias

Com o objetivo de estabelecer uma padronização na medição de anomalias nas barragens, a APAC disponibiliza uma estrutura que define as diferentes categorias e níveis em que essas anomalias podem ser identificadas. A situação das anomalias, suas magnitudes correspondentes e os níveis de perigo associados são quantificados por meio de abreviações, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Situação, Magnitude e Nível de Perigo das anomalias

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

Fonte: Adaptado de APAC (2022)

2.3 Tópicos analisados da barragem

Os elementos avaliados pela ficha de inspeção regular de barragem de concreto, também fornecida pela APAC, são: infraestrutura operacional, barragem, sangradouro/vertedouro, tomada d'água, reservatório, região à jusante da barragem e medidor de vazão.

Alguns dos tópicos também se subdividem para ampliar a quantidade de informações a respeito do item. Porém, devido à limitação do tempo da visita, ocorrida no dia 05/09/2022, alguns dos itens e subitens supracitados não foram inspeccionados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Paramento de Montante

O talude de montante da barragem apresenta uma pequena quantidade de vegetações trepadeiras que, como mostra a Figura 2, percorrem desde o nível do vertedouro principal até o nível d'água. A presença de vegetações não é recomendada no revestimento da barragem, uma vez que suas raízes têm o potencial de penetrar o concreto, aumentando o risco de fissuras e facilitando a infiltração da água.

Figura 2 - Talude de montante da barragem



Fonte: Autor (2022)

Além da vegetação, é possível notar a presença de fissuras horizontais e inclinadas ao longo do paramento, como mostra a Figura 3a. Também foi observada a presença de erosão no paramento, que, a princípio, apresenta um impacto de pequena magnitude na estrutura. Tal anomalia está ilustrada na Figura 3b.

Figura 3 – Anomalias no talude de montante da barragem: a) fissuras, b) sinais de erosão



(a)

(b)

Fonte: Autor (2022)

Uma das possíveis causas do surgimento de fissuras são as reações álcalis-agregado, em que os álcalis agregados do concreto presentes na pasta de cimento (sódio e potássio), podem reagir com a sílica dos agregados causando o aumento do volume. As deteriorações por esse tipo de reação caracterizam-se pela expansão com fissuras aparentes na superfície do concreto. No encontro do paramento de montante com a ombreira direita foram observadas fissuras horizontais e também sinais de desgaste do corpo devido à erosão, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Fissuras e erosão no encontro da ombreira direita



Fonte: Autor (2022)

3.2 Crista

A crista da barragem (Figura 5) possui um comprimento total de 442 m e está localizada na cota 299 m, 7 m acima do sangradouro principal. No geral, o coroamento da barragem apresenta anomalias de cunho insignificante, como também anomalias com nível de perigo em alerta.

Figura 5 - Coroamento da barragem



Fonte: Autor (2022)

Uma das anomalias encontradas foi a grande quantidade de fissuras ao longo da crista, dimensões variadas e sinais de desgaste, mostradas na Figura 6a. Outro ponto verificado foi a presença de material solto no coroamento (Figura 6b). Segundo o técnico responsável pela barragem, houve uma reforma recente ao dia da inspeção, na qual foram implantados guarda corpos e novos postes para auxiliar na iluminação e facilitar o trânsito na crista.

Figura 6 – Coroamento da barragem: a) fissuras e desgaste, b) resquício de obra



Fonte: Autor (2022)

A maior anomalia presente na crista da barragem são as flechas de, em média, 5 centímetros ao longo dos blocos. Tal anomalia está evidenciada na Figura 7a, na qual pode-se facilmente notar o desalinhamento do meio fio com o guarda corpo. A medição (Figura 7b), foi realizada com o auxílio de duas trenas metálicas, uma fixada horizontalmente nas extremidades do bloco para servir de base de comparação, e outra para quantificar a diferença de nível.

Figura 7 - Flecha nos blocos do coroamento: a) flecha, b) medição



Fonte: Autor (2022)

De acordo com o item 13.3 da Norma Brasileira (NBR) 6118:2014, que trata de limites de deslocamentos para uma laje, deslocamentos-limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura. De acordo com a norma, o deslocamento máximo (flecha) permitido está disposta na Equação 1.

$$\delta = \frac{l}{250} \quad (1)$$

Onde:

δ representa o deslocamento máximo (flecha) no meio do vão, em centímetros; e

l representa o comprimento total do vão, em centímetros.

Durante a inspeção, não foi possível realizar a medição precisa dos comprimentos dos vãos, mas como o coroamento possui 11 vãos e um comprimento total de 170 m, pode-se considerar um comprimento médio de, aproximadamente, 15,45 m para cada vão. Assim, conforme estabelecido pela Equação 1, a flecha permitida pela Norma é de 6,18 centímetros, o que representa uma diferença de apenas 1,18 centímetros em relação ao valor registrado em campo, o que é motivo de preocupação.

Caracterizando uma anomalia de média magnitude, o surgimento de flechas pode ser resolvido pela equipe local da barragem com apoio da equipe sede do empreendedor ou apoio externo. Algumas possíveis causas para essas patologias são: recalque da fundação, subpressão não prevista na estrutura, reações químicas no concreto com expansão do material ou efeitos térmicos.

3.3 Paramento de Jusante

O paramento de jusante, apresentado na Figura 8, apresenta, de forma geral, algumas anomalias de pequeno porte, que podem ser resolvidas pela própria equipe local da barragem, assim como anomalias de maior magnitude.

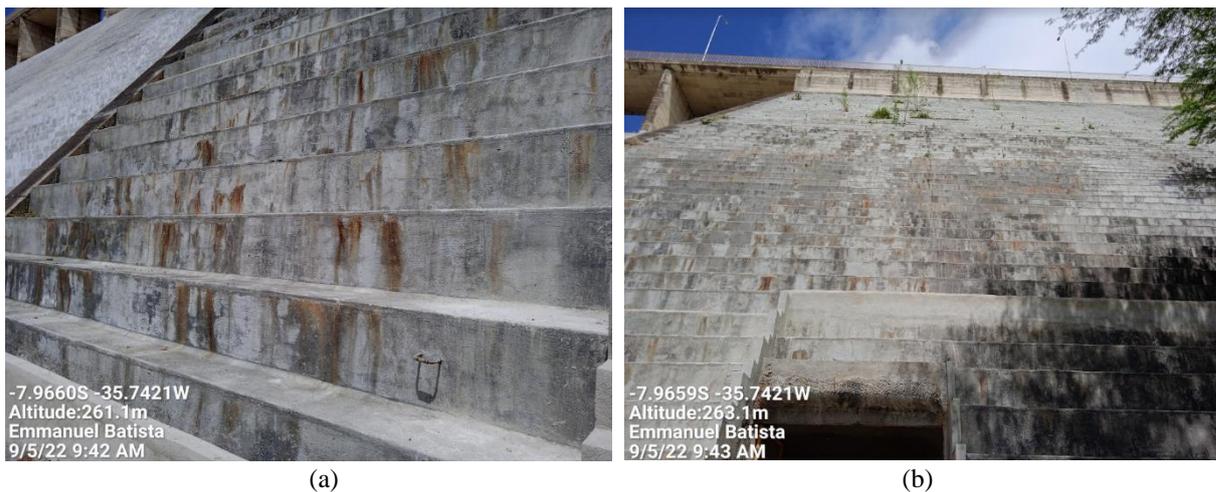
Durante a inspeção visual do paramento de jusante foi observado um enorme destacamento superficial, caracterizado por uma coloração mais escura em diversos pontos da barragem, como mostra a Figura 9a. Outra observação feita durante a inspeção foi a forte presença de sinais de percolação e áreas úmidas ao longo de todo o paramento, ilustrado na Figura 9b.

Figura 8 - Parte do paramento de jusante da barragem



Fonte: Autor (2022)

Figura 9 – Anomalias no paramento de jusante da barragem: a) destacamento superficial do concreto, b) percolação e áreas úmidas



(a)

(b)

Fonte: Autor (2022)

O destacamento superficial do concreto pode ter sido causado por um erro no cálculo da relação água cimento ou até mesmo erro na fase de lançamento e vibração do concreto. Já em relação à percolação, um dos principais fatores causadores dessa anomalia é a má compactação do concreto na fase de execução, que faz com que o concreto apresente um alto índice de vazios que, conseqüentemente, viram caminhos preferenciais para a passagem da água.

A presença de vegetações de pequeno e médio porte no paramento, mostrado na Figura 10a, confirma a hipótese do surgimento de caminhos preferenciais, uma vez que suas raízes vão adentrando a superfície do concreto e aumentando o índice de vazios no interior do talude. A principal anomalia do talude de jusante é, sem dúvidas, a enorme quantidade de fissuras presentes em todo o paramento, fissuras de vários tamanhos e direções, como mostra a Figura 10b.

Figura 10 – Anomalias no paramento de jusante: a) presença de vegetação, b) fissuras



Fonte: Autor (2022)

Como as fissuras estão dispostas de maneiras aleatórias, sem apresentar um padrão, a causa mais provável do seu aparecimento é a reação álcali-agregado, que é muito comum em áreas úmidas e é causada pelos agregados reativos contidos no concreto.

Também é importante considerar a hipótese de que possa se tratar de retração plástica no concreto ou até mesmo a ação de sulfatos como causas possíveis. Uma maneira de remediar essa situação é por meio da aplicação de selante epóxi, uma vez que sua capacidade de preencher e vedar aberturas no concreto impede a infiltração de água, fortalecendo a estrutura.

3.4 Galeria de Inspeção

A galeria de inspeção da barragem foi o local com maior número de anomalias observadas e, portanto, necessita de reparos com urgência. Os primeiros problemas observados foram a deficiência na iluminação e a deterioração dos portões da galeria. Os portões de acesso e saída foram encontrados fora do seu local esperado, como mostra a Figura 11.

No dia da inspeção, havia uma equipe fazendo reparos no interior da galeria, a retirada dos portões pode ter sido realizada com a finalidade de facilitar a entrada de materiais e máquinas que auxiliavam tais reparos.

Figura 11 – Portões: a) acesso a galeria de inspeção, b) saída da galeria de inspeção



Fonte: Autor (2022)

Outro fator importante é a presença de entulhos e resto de obra nos corredores da galeria, foram registradas estacas, tábuas de madeira, resquícios de tubulações e alguns outros objetos, como mostra a Figura 12. Apesar de não atrapalhar no funcionamento da estrutura, a presença de entulhos reflete em sinais de descaso e má conservação.

Figura 12 - Entulhos na galeria de inspeção



Fonte: Autor (2022)

Além disso, grande parte dos poços de alívio da barragem encontram-se danificadas, total ou parcialmente, como mostra a Figura 13. Os poços de alívio são estruturas importantes dos sistemas de drenagem que auxiliam na estabilidade da estrutura. São projetados para controlar a elevação do nível da água, aliviando a o efeito da subpressão, um fenômeno que exerce influência direta na estabilidade da estrutura.

Figura 13 - Poços de alívio: a) parcialmente obstruído, b) totalmente obstruído



Fonte: Autor (2022)

Como citado anteriormente, no dia da inspeção havia uma equipe realizando reparos no interior da galeria, a Figura 14 ilustra os trabalhadores realizando o processo de escavação para a adição de novos poços de alívio e a desobstrução dos atuais, auxiliando a estrutura em relação ao esforço devido a atuação da subpressão.

Figura 14 - Equipe adicionando novos poços de alívio



Fonte: Autor (2022)

Em relação aos drenos, como mostra a Figura 15, boa parte do seu sentido longitudinal estava obstruído por entulhos dificultando o fluxo da água e gerando acúmulo da mesma. Os drenos desempenham um papel crucial na gestão de água e na estabilidade da estrutura, são projetados para coletar e desviar a água que se acumula no interior da barragem de forma controlada, reduzindo a pressão hidrostática e prevenindo possíveis problemas.

Figura 15 - Dreno parcialmente obstruído e acumulando água



Fonte: Autor (2022)

Apesar de estar parcialmente obstruído, o vertedouro triangular, que serve para o controle da vazão drenada, apresentou uma carga linear de 5 centímetros. A medição do fio d'água foi realizada após a saída da galeria de inspeção, com uma trena metálica. O valor dessa carga se deve ao altíssimo índice de percolação no teto da galeria que deixaram a escadaria encharcada (Figura 16a) e a vazão das calhas laterais elevada (Figura 16b).

Figura 16 – Percolação na galeria: a) degraus encharcados, b) escoamento da calha lateral para o dreno



(a)



(b)

Fonte: Autor (2022)

Parte da obstrução dos drenos se deve a enorme incidência de percolação ao longo das paredes da galeria. Como mostra a Figura 17, vários pontos apresentam áreas úmidas e, conseqüentemente, geram um grande carreamento de material, que por sua vez aumenta a obstrução dos drenos e dificulta o fluxo da água.

Figura 17 - Percolação e carreamento de material nas paredes da galeria de inspeção



Fonte: Autor (2022)

Outra anomalia fortemente presente no teto e nas paredes da galeria de inspeção é a carbonatação do concreto, que é causada pela lixiviação do hidróxido de cálcio do cimento que se carbonata em contato com o gás carbônico do ar, gerando manchas brancas pontuais ou lineares, como mostra a Figura 18a. Há também ocorrências de manchas castanho-avermelhadas, Figura 18b, que podem ser provenientes do carreamento de matéria orgânica ou argila dissolvida na água do reservatório.

Figura 18 – Anomalias na galeria de inspeção: a) carbonatação do concreto, b) manchas castanho-avermelhadas



Fonte: Autor (2022)

3.5 Canais de Restituição

Recentemente foram construídos dois canais de restituição, um de cada lado da barragem, como mostra a Figura 19, localizados na cota 285m, 7 m abaixo do vertedor principal. O canal

direito está em contato direto com o solo. A fim de evitar a erosão e a percolação da água nas rochas, foi utilizado o jateamento de concreto projetado ao longo de boa parte do canal, como mostra a Figura 20.

Figura 19 - Canal de restituição: a) direito, b) esquerdo



Fonte: Autor (2022)

Figura 20 - Concreto projetado no canal de restituição direito



Fonte: Autor (2022)

Na construção dos canais foram utilizadas juntas de dilatação (Figura 21) de, aproximadamente, 5 em 5 metros, que apresentavam um bom estado. O canal, que até a data da inspeção nunca foi usado, não apresentou sinais de erosão ou presença de vegetação, tampouco obstrução. A única observação a ser feita é a presença de dejetos de animais de médio porte.

Figura 21 - Junta de dilatação do canal de restituição



Fonte: Autor (2022)

3.6 Estrutura Vertente

O vertedouro principal, ilustrado na Figura 22, está localizado na cota 292 m e possui um comprimento de 170 metros. A Figura 23a mostra que, assim como o paramento de jusante, o vertedouro principal apresenta muitas áreas úmidas ao longo do seu comprimento apesar do nível d'água estando muito abaixo da soleira do vertedouro e não ter relatos pluviométricos nos dias que antecederam a inspeção, significando que o vertedouro também sofre do efeito da percolação. Através da Figura 23b, que é uma ampliação da Figura 23a, são perceptíveis não apenas a grande deterioração da superfície do concreto, mas também a presença de rachaduras e trincas ao longo da estrutura.

Figura 22 - Vertedouro principal de Jucazinho



Fonte: Autor (2022)

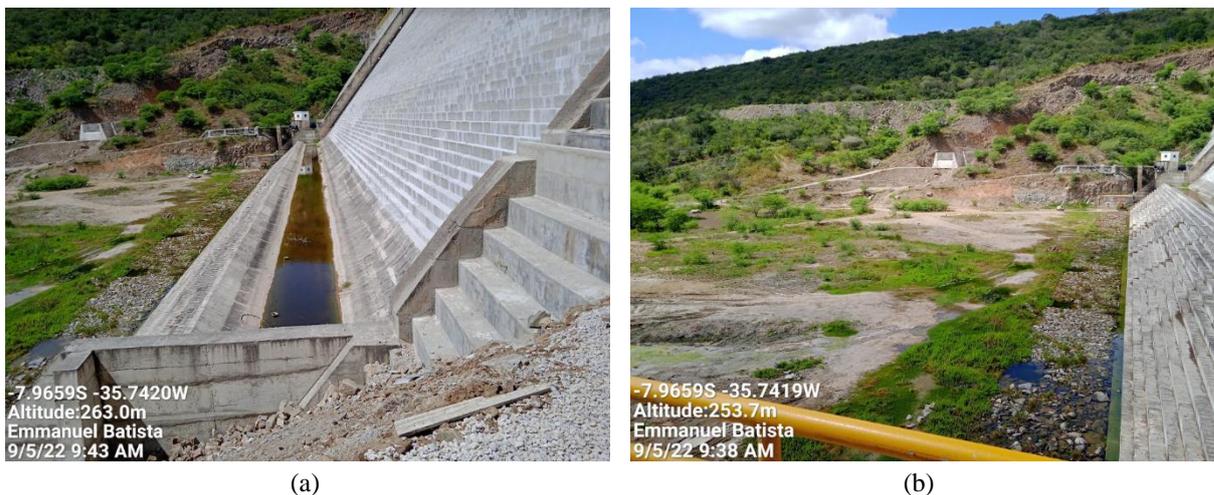
Figura 23 – Anomalias no vertedouro: a) áreas úmidas, b) deterioração e fissuras no concreto



Fonte: Autor (2022)

Outra anomalia observada é a surgência de água no pé da barragem e no salto de esqui (Figura 24a), mesmo, como dito anteriormente, com o nível d'água bem abaixo do nível da soleira do vertedouro e sem eventos de chuva recentes, o que fortalece a hipótese da percolação ao longo do vertedouro. A Figura 24b mostra, além da surgência, a presença de vegetação de pequeno e médio porte no pé da barragem, nos seus 10 metros iniciais.

Figura 24 – Anomalias na estrutura vertente: a) acumulação de água no salto de esqui devido à percolação, b) surgência e presença de vegetação no pé da barragem



Fonte: Autor (2022)

3.7 Reservatório

Atualmente, o reservatório, que tem capacidade para aproximadamente 205 milhões de m³, está longe da sua capacidade máxima, como mostra a Figura 25a, mas igualmente longe do que

esteve em 2017 quando a barragem colapsou (Figura 25b), preocupando a COMPESA e as cidades e municípios que dependem da barragem para abastecimento. De acordo com o responsável técnico da barragem, no dia em questão, o reservatório apresentava 26% da sua capacidade de armazenamento, totalizando aproximadamente 53 milhões de m³.

Figura 25 - Reserva de água na barragem: a) ano de 2022, b) ano de 2017



Fonte: Autor (2022), G1 (2017)

Em relação à qualidade da água, o reservatório apresenta um histórico de má qualidade. O Diagnóstico da Qualidade de Água dos Reservatórios de Pernambuco – Anos 2021/2022, publicado pela APAC em março de 2023, mostra que, quanto à salinização do solo, Jucazinho foi um dos reservatórios que apresentou maiores níveis de risco.

Em relação a qualidade da água para proteção da vida aquática, Jucazinho foi o que esteve com a qualidade mais comprometida durante o estudo, apresentando “Ruim” para o índice da comunidade fitoplanctônica (ICF) em 75% das coletas.

Não obstante, Oliveira e Albuquerque (2009) mostraram que as águas do Reservatório de Jucazinho, em 2008, encontravam-se com níveis médios de fósforo (241µg/L) acima do permitido pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (30 µg/L para águas lânticas classe 2). Lima e Barbosa (2014) confirmam e acrescentam que, dos anos avaliados, 2011 foi o que apresentou a maior carga de fósforo acumulada no reservatório, cerca de 138.077 kg/dia.

3.8 Região à Jusante da Barragem

Como mostrado na Figura 26a, há somente a presença de vegetação de pequeno e médio porte nos primeiros 10 metros à jusante da barragem. O único ponto preocupante é a presença de

estabelecimentos próximos ao barramento. Além da estação elevatória de água bruta da COMPESA e do bar Jucazinho, há vários povoados (Figura 26b) que, em caso de rompimento, estariam sujeitos a danos severos, classificando a barragem com um alto dano potencial associado.

Figura 26 - Estabelecimentos próximos ao barramento: a) estação elevatória e bar Jucazinho, b) povoados

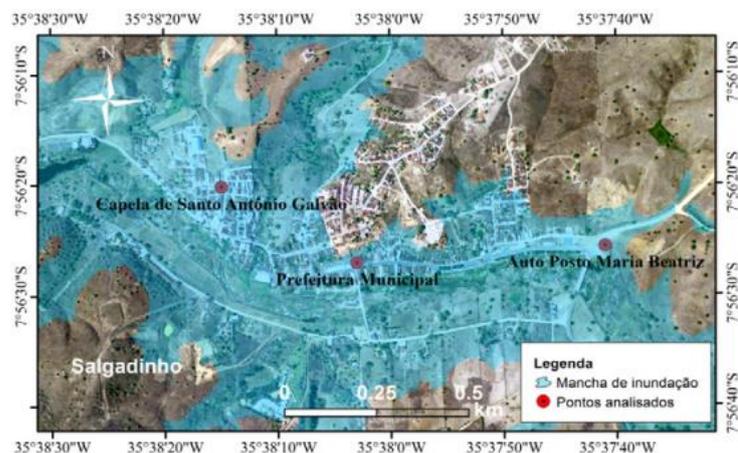


Fonte: Google Maps (2022)

Além dos povoados e estabelecimentos próximos, Neves, Rodrigues e Cabral (2019) e Silva (2021) mostram que em caso de um possível rompimento da barragem, os municípios de Salgadinho e Limoeiro seriam fortemente prejudicados.

Foi verificado que a cidade de Salgadinho, localizada há aproximadamente 12 km da barragem, é atingida pela onda de inundação (Figura 27) em 22 minutos para o tempo de formação da brecha de 0,1h, com o potencial de atingir aproximadamente duas mil pessoas, correspondendo a 22,6% da população.

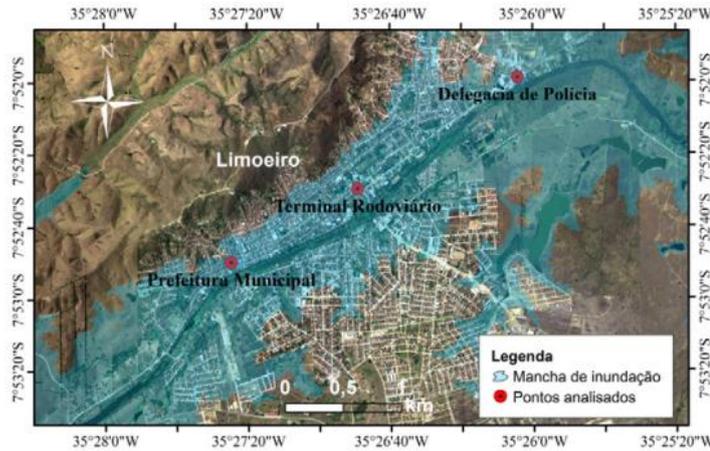
Figura 27 – Mancha de inundação de Salgadinho



Fonte: Neves, Rodrigues e Cabral (2019)

Já Limoeiro, localizada há aproximadamente 37 km da barragem, é atingida pela onda de inundação (Figura 28) em 102 minutos para o tempo de formação da brecha de 0,1h com potencial de atingir aproximadamente trinta mil pessoas, o que corresponde a 52,6% da população total.

Figura 28 – Mancha de inundação de Limoeiro



Fonte: Neves, Rodrigues e Cabral (2019)

Os Quadros 2 e 3 apresentam um resumo das anomalias verificadas na Barragem de Jucazinho. Como mencionado anteriormente, a galeria de inspeção foi o local com o maior número de anomalias. Apesar dos reparos que estavam ocorrendo no dia da inspeção, ficou evidente que a galeria, assim como as outras partes da barragem, necessita de manutenção geral.

Quadro 2 – Resumo das anomalias localizadas no coroamento e paramento

PARAMENTO DE MONTANTE			COROAMENTO			PARAMENTO DE JUSANTE		
Anomalia	Mag.	N.P.	Anomalia	Mag.	N.P.	Anomalia	Mag.	N.P.
Vegetação	P	1	Movimentos diferenciais	M	2	Destacamento superficial	M	1
Fissuras	P	1	Material solto	I	0	Percolação	M	2
Erosão	P	1	Desgaste	P	1	Vegetação	P	1
-	-	-	Fissuras	P	1	Fissuras	M	2

Fonte: Autor (2023)

Quadro 3 – Resumo das anomalias localizadas na galeria de inspeção, vertedouro e reservatório

GALERIA DE INSPEÇÃO			VERTEDOURO			RESERVATÓRIO		
Anomalia	Mag.	N.P.	Anomalia	Mag.	N.P.	Anomalia	Mag.	N.P.
Poços de alívio obstruídos	M	2	Destacamento superficial	M	1	Qualidade da água	M	1
Carreamento de material	M	2	Percolação	M	2	-	-	-
Portões obstruídos	I	0	Vegetação	P	1	-	-	-
Drenos obstruídos	M	1	Surgência	M	2	-	-	-
Material solto	I	0	Fissuras	M	2	-	-	-
Carbonatação	P	1	-	-	-	-	-	-
Percolação	G	2	-	-	-	-	-	-
Iluminação	I	0	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2023)

4 CONCLUSÕES

Ao longo do relatório de inspeção foram apresentados diversos problemas associados à Barragem de Jucazinho. Portanto, com as evidências mostradas, recomenda-se que sejam tomadas as seguintes medidas:

- Retirada da vegetação presente nos taludes de montante e jusante, e à jusante da barragem;
- Reforço nos vãos centrais do coroamento para evitar o agravamento das flechas;
- Utilização de selante epóxi nos paramentos de montante e jusante;
- Injeção de pasta de cimento para diminuir os caminhos preferenciais da água na estrutura e, conseqüentemente, a diminuição de percolação no paramento de jusante, vertedouro e galeria de inspeção;
- Reposicionar os portões de entrada e saída da galeria de inspeção;
- Retirada dos entulhos da passarela e dos drenos;
- Desobstrução dos poços de alívio.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **RELATÓRIO DE ANÁLISE DE IMPACTO REGULATÓRIO N° 1/2020/COMAR/SRE Documento nº 02500.019177/2020-26**. 2020.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. **Diagnóstico da Qualidade da Água dos Reservatórios de Pernambuco – Anos 2021 e 2022**. Pernambuco: 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. **FICHA PARA INSPEÇÃO REGULAR DE BARRAGEM DE CONCRETO**. Pernambuco: 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de Água: Tecnologias de Controle**. 1º Edição. João Pessoa: Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba, 2013.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS – CBDB. **A História das Barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. 1º Edição. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

COMPESA. **Barragem de Jucazinho continua sem acumular água**. 2017. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/barragem-de-jucazinho-continua-sem-acumular-agua/>. Acesso em: 04 out. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334. [S. l.], 20 set. 2010.

FERNANDES, M. M. **Análise de risco de ruptura de barragens: estudo de caso de seis barragens na Ilha de Santiago em Cabo Verde-África**. Tese (Doutorado) 2020. 381f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza (CE), 2020.

G1. **Com barragem seca, moradores perdem safras e recorrem a cisternas**. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2017/04/com-barragem-seca-moradores-perdem-safras-e-recorrem-cisternas.html>. Acesso em 29 jul. 2023.

LIMA, M. H. G.; BARBOSA, I. M. B. R. **ANÁLISE DO ELEMENTO FÓSFORO EM PERFIL VERTICAL E A QUALIDADE DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO JUCAZINHO, EM SURUBIM – PERNAMBUCO**. Minas Gerais: 2014.

NEVES, Y T.; RODRIGUES, A. B.; CABRAL, J. J. D. S.; **Modelagem computacional do rompimento hipotético da barragem de Jucazinho no estado de Pernambuco (Brasil)**. Revista DAE, v. 69, n. 230, p. 167–182, 25 mar. 2021. <https://doi.org/10.36659/dae.2021.039>.

OLIVEIRA, F. H. P. C. D.; ALBUQUERQUE, N. L. **AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE JUCAZINHO (PERNAMBUCO-BRASIL), PERTENCENTE À BACIA DO RIO CAPIBARIBE**. Pernambuco: 2009.

OLIVEIRA, N. C. C. DE. **A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil**. *Varia Historia*, v. 34, n. 65, p. 315–346, ago. 2018.
<https://doi.org/10.1590/0104-87752018000200003>

SILVA, E. J. G. **O EFEITO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DO MODELO DIGITAL DO TERRENO NA ESTIMATIVA DA MANCHA DE INUNDAÇÃO DECORRENTE DA RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM JUCAZINHO**. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 4. ed. São Paulo: Editora edusp: 1993.

EMMANUEL SILVA BATISTA

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DE UMA BARRAGEM: Estudo de Caso no
Agreste de Pernambuco

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Aprovado em 06 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Débora Cristina Almeida de Assis (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Moura Soares (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

Ma. Júlia Danielle Silva de Souza (Avaliadora)
Doutoranda do PPGEC/UFPE