

## ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DE AMASSAMENTO DO CONCRETO: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM PAU FERRO LOCALIZADA NA ZONA DA MATA SUL DE PERNAMBUCO

Micael Gomes de Lima (Centro Universitário Maurício de Nassau-Recife)

E-mail: micaellima201@gmail.com

Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida (Centro Universitário Maurício de Nassau-Recife)

E-mail: aliceguilherme@hotmail.com

**Resumo:** A Barragem Pau Ferro apresenta uma grande importância na acumulação e distribuição de água em cinco cidades do Agreste de Pernambucano. O reservatório é alvo de diversas denúncias devido ao seu estado de conservação. O objetivo da pesquisa foi investigar as manifestações patológicas e a realização de análises físico-químicas da água de amassamento do concreto da barragem. Para tal intuito, realizou-se visitas à Barragem Pau Ferro, tendo como intenção de localizar a maior quantidade de anomalias no concreto do reservatório. As duas análises físico-químicas realizadas com a água utilizada na produção do concreto da barragem seguiram a NBR 15900-1/2009, que padroniza os limites dos parâmetros monitorados como requisitos para água de amassamento do concreto, sendo assim águas que apresentem contaminantes que ultrapassem os limites determinados pela norma podem causar a perda de resistência do concreto. Os resultados obtidos demonstraram que os parâmetros das amostras avaliadas estão de acordo com os critérios estabelecidos pela norma, ou seja, as águas avaliadas estavam próprias para o uso destinado. Mesmo que não exista vínculo entre a qualidade da água e a presença de anomalias no concreto, os resultados não são conclusivos para determinar esse elo, sendo necessários mais dados do decorrer de uma série histórica. Em suma, o estudo possibilitou uma visão atual das manifestações patológicas presentes no concreto da barragem. Além disso, as análises físico-químicas demonstraram que a água de amassamento é de ótima qualidade e com forte indício de não ter causado as anomalias no concreto.

**Palavras-chave:** Obras hidráulicas, Irregularidades, Agregado, Quipapá.

## PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS OF THE WATER FOR MIXING CONCRETE: CASE STUDY OF PAU FERRO DAM LOCATED IN THE SOUTH RAINFOREST ZONE OF PERNAMBUCO

**Abstract:** The Pau Ferro Dam is of great importance for the accumulation and distribution of water to five municipalities in the Agreste region of Pernambuco. The reservoir is the target of several complaints due to its state of conservation. The objective of the research was to investigate the pathological manifestations and perform physicochemical analyzes of the mixing water of the dam's concrete. For this purpose, visits were made to the Pau Ferro Dam, in order to locate the largest number of anomalies in the concrete of the reservoir. The two physical-chemical analyzes carried out with the water used in the production of the concrete for the dam followed the NBR 15900-1/2009, which regulates the limits of the parameters monitored as requirements for water for mixing concrete, and therefore, water that presents Contaminants that exceed the limits determined by the standard can cause the concrete to lose strength. The results obtained showed that the parameters of the evaluated samples are in accordance with the criteria established by the norm, that is, the evaluated waters were suitable for the intended use. Although there is no connection between water quality and the presence of anomalies in concrete, the results are not conclusive to determine this connection, requiring more data over a historical series. In short, the study provided a current view of the pathological manifestations present in the dam concrete. In addition, the physical-chemical analyzes demonstrated that the mixing water is of excellent quality and with a strong indication that it did not cause the anomalies in the concrete.

**Keywords:** Hydraulic Works, Irregularities, Aggregate, Quipapá.

## **1. Introdução**

No decorrer dos anos ocorreu uma vasta evolução na construção de barragens, o que possibilitou um expressivo progresso na tecnologia do concreto desses reservatórios, possuindo um grande destaque o CCR (Concreto Compactado com Rolo) (CARDOSO et al., 2007). O concreto empregado em barragens CCR apresenta praticamente as mesmas características das propriedades do concreto convencional, os valores resultantes para variadas propriedades mostram grande semelhança entre os dois. As diferenças que existem são em relação à dosagem, porque o CCR apresenta menor teor de água e de pasta, quando comparado ao concreto convencional. A consistência do CCR permite suportar o rolo vibratório com conteúdo de compactação da pasta adequado para rolos vibratórios ou outros instrumentos externos (MILANI FILHO, 2003).

As barragens de concreto, em sua grande maioria, são erguidas com matérias primas do próprio local da construção, graças a fácil obtenção e disponibilidade. Entretanto, são necessários diversos estudos prévios desses materiais em relação a sua composição química e física e sua ligação com o próprio agente aglomerante ou cimento. Investigações sobre o comportamento dessas matérias primas em um futuro distante é vital para a manutenção das qualidades de projeto da estrutura (SANTI, 2008).

A água é um ingrediente primordial na preparação do concreto, a sua atuação vai desde o desempenho da massa em seu estado fresco, até a sua condição endurecida, garantindo a ela o papel de insumo que tem influência em toda a vida da estrutura. Sendo assim, a qualidade pertencente da água de amassamento apresenta um grande impacto em diversos parâmetros da qualidade final do concreto, em uma possível anormalidade dessa água pode comprometer o tempo de pega, o desenvolvimento da resistência do concreto e a proteção da armadura contra a corrosão (KUCCHE; JAMKAR; SADGIR, 2015).

Devido à grande relevância da água de amassamento, existe a seriedade de seguir as determinações das normas técnicas em vigor e passar por avaliações de qualidade, com o intuito de que ela seja empregada na parcela adequada, como também esteja eximida de substâncias que possam ser prejudiciais ao desempenho de concretos e argamassas. Para a necessidade descrita anteriormente, faz o uso norma técnica NBR 15900-1/2009, nela são especificados os teores máximos dos componentes danosos presentes na água e direciona as técnicas utilizadas nos estudos preliminares e químicos (LIMA, 2014).

O Ministério Público de Pernambuco (MPPE) em 28/08/2019 alega em seu site que em conjunto com as Defesas Cíveis Municipal e Estadual, por meio da Promotoria de Justiça de Quipapá, realizou uma vistoria na Barragem Pau Ferro. Segundo a promotora Ana Victória Schauffert, a ação objetivou a constatação das denúncias de má conservação da obra. Após a vistoria houve a recomendação da instalação de estrutura de segurança no local e a realização de obras de manutenção. Já em 19 de novembro de 2019 foi realizada uma audiência em que a COMPESA expôs que o reservatório não possui um Plano de Ação Emergencial (PAE) e projetos sobre a sua construção, mas que ações já estavam sendo realizadas para resolver esses problemas. Todavia, segundo a COMPESA (2022), nenhuma dessas ações foram realizadas até o presente momento da pesquisa na Barragem Pau Ferro.

Então, diante dessa adversidade surgiu a seguinte pergunta: Existe relação entre o surgimento das patologias no concreto da Barragem Pau Ferro e a qualidade da água utilizada na produção do mesmo? Sendo assim, é de extrema importância identificar as principais irregularidades que atingem o concreto da barragem de Quipapá por meio de

visitas de campo. Bem como a realização de análises físico-químicas, que seguem a NBR 15900-1/2009, com a água empregada na construção da barragem, para averiguar a existência de uma possível correlação entre essa água e as anomalias expostas no concreto, já que não existem projetos sobre as características construtivas de Pau Ferro.

## 2. Barragem de concreto

### 2.1 Componentes de uma barragem de concreto

A inserção dos conceitos iniciais dos componentes de uma barragem de concreto tem o objetivo de facilitar a percepção do trabalho para o leitor, Moura (2016) define cada item no Quadro 1.

| PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA BARRAGEM DE CONCRETO |  |
|--|--|
| Componente   | Descrição  |
| Bacia de dissipação                                | Tem a função de dissipar a energia cinética em excesso, resultado do escoamento da água, para que essa energia não provoque danos em obras anexas a jusante do maciço da barragem.                   |
| Crista da Barragem                                 | Parte superior da barragem, devendo possuir uma largura mínima que permita condições de acesso para serviços de manutenção.  |
| Vertedouro   | Funciona como um dispositivo de segurança que conduz a água de forma segura através de uma barreira, atua impedindo a passagem da água sobre a barragem quando ocorrerem chuvas ou aumento de vazão. |
| Galeria de drenagem/inspeção                       | Passagem no interior da barragem utilizada para realização de inspeções, operações, reparos de fundação e drenagem.  |
| Maciço da Barragem                                 | É a própria barragem, retém a água no reservatório.  |
| Ombreiras  | São as laterais do vale onde a barragem se apoia.  |
| Paramento de jusante                               | Superfície inclinada da barragem, não fica em contato com a água do reservatório, sendo conhecido por talude “seco”.   |
| Paramento de montante                              | Superfície vertical ou quase-vertical da barragem, localizada no maciço que vai ficar em contato direto com a água do reservatório.  |
| Reservatório                                       | É água represada pela barragem.  |

Quadro 1 - Componentes de uma barragem de concreto (Adaptado de MOURA (2016)).

Ainda sobre esses componentes, a Figura 1 ilustra uma visão geral desses elementos, com a distribuição e localização no arranjo de uma barragem de concreto.

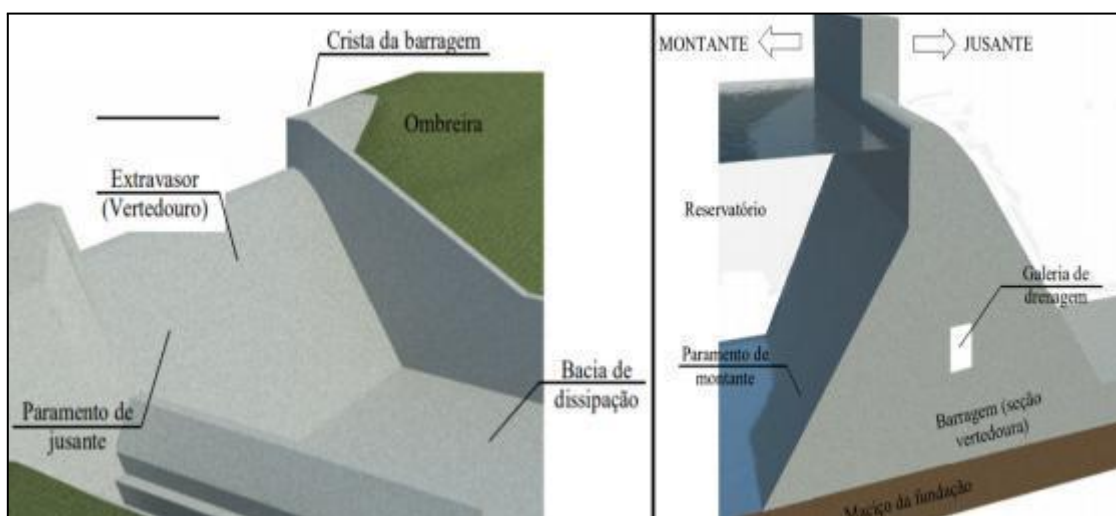


Figura 1 - Componentes de uma barragem de concreto (Adaptado de MOURA (2016)).

## **2.1 Água de Amassamento**

De acordo com Gonçalves e Godinho (2016), a produção do concreto é realizada por meio da mistura de cimento, areia, brita e água, havendo ou não a adição de aditivos. Essa água utilizada na produção do concreto denomina-se água de amassamento, sendo de suma importância e deve estar dentro dos padrões de qualidade aceitáveis, caso contrário poderá afetar as propriedades do concreto. Sendo assim, a NBR 15900-1 estabelece requisitos para que as águas oriundas de diferentes fontes possam ser utilizadas em sua fabricação, o raciocínio da norma é, se a água for potável, seu uso é liberado para o preparo do concreto.

Contaminantes dissolvidos na água em teores que ultrapassem os limites determinados pela norma podem causar a alteração no tempo de pega e com o tempo proporcionar o surgimento de patologias, comprometendo a durabilidade do bem erguido. Em casos como lagos, rios, poços ou outras fontes superficiais ou submersas, são realizados ensaios de caracterização química da água, para comprovar se essa atende aos requisitos propostos pela norma (BATTAGIN; BATTAGIN, 2019).

Conforme Battagin e Battagin (2019), a utilização de águas poluídas no amassamento pode comprometer a vida útil das estruturas, com a corrosão das armaduras. Em blocos de concreto, sem elementos metálicos em seu interior, a acidez da água pode degradar a pasta. Nas duas situações, os contaminantes não devem reagir com os constituintes do concreto ou argamassa, evitando assim futuras patologias. Para tanto, a norma determina os valores limites máximos em análises físico-químicas.

Com a finalidade de diminuir a distância entre o local de obtenção dos materiais e a obra e ainda reduzir os impactos ambientais, é esperado que a obtenção dos materiais a serem utilizados na construção de uma barragem seja oriundo do interior do reservatório (ANA, 2016).

## **2.2 Anomalias no concreto**

De acordo com Nogueira (2010), o concreto é um dos insumos mais consumidos no planeta, como também no Brasil, graças a grande variedade de matéria-prima para o seu preparo, facilidade no manuseio e baixo custo, isso em relação a outros materiais da construção civil. O autor ainda relata que a durabilidade das estruturas de concreto estão atreladas às características físicas e químicas, materiais, processo construtivo, ao tipo de solicitação que aquela obra estará sujeita, e por fim ao ambiente de exposição. Logo, diversos podem ser as causas do surgimento de anomalias do material, resultados de origens físicas e químicas, ganhando destaque a corrosão das armaduras, o ataque por sulfatos e a reação álcali-agregado (RAA). Segundo Lapa (2008), a eflorescência, manifestação patológica, assim como os ataques por sulfatos, sais, ácidos e RAA, apresentam uma enorme nocividade ao concreto e à argamassa. Essas anomalias estão vinculadas com a qualidade da água de amassamento empregadas nos seus processos produtivos.

A RAA é uma das anomalias que apresentam um elevado estado de deterioração do concreto e atinge em especial as obras de infraestrutura, barragens e pontes. Essa reação é desencadeada por processos químicos de certos compostos mineralógicos do agregado com hidróxidos alcalinos de origem do cimento, água de amassamento e agentes externos, os quais estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Apesar da RAA ser lenta, ela pode tornar a situação patológica irreversível, gerando produtos expansivos que têm a capacidade de causar microfissuras no concreto, resultando na perda de sua homogeneidade, resistência mecânica e durabilidade. Existem técnicas

capazes de evitar que a RAA comprometa a estrutura de concreto, todavia, as consequências deixadas por essa reação são irreversíveis e esses procedimentos apenas são paliativos (Nogueira, 2010).

### 3. Metodologia

#### 3.1 Área de estudo e histórico da obra

A Barragem Pau Ferro fica localizada no distrito de Pau Ferro, zona rural do município de Quipapá-PE e apresenta uma distância de 216 km da capital do estado de Pernambuco e 12 km do centro do município de origem. É possível observada na Figura 2 a localização de Quipapá em Pernambuco e logo mais abaixo, na mesma figura, as imagens de satélite da Barragem Pau Ferro. De acordo uma estimativa do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2022), a população quipapaense foi composta por 26.309 pessoas em 2021.



**Figura 2** - Localização de Quipapá em Pernambuco e da Barragem no município (Adaptado do IBGE (2021); adaptado do Google Maps (2021)).

Segundo as informações obtidas no site weatherspark.com, o clima da região é tropical chuvoso, quente e úmido com uma precipitação média anual de 801,5 mm e, uma temperatura varia de 17 °C a 31 °C. No inverno há muito mais pluviosidade do que no verão, sendo novembro o mês mais seco registrando 12 mm de precipitação, já em junho é registrada a maior precipitação com 143 mm.

A Barragem Pau Ferro nasceu através do método construtivo CCR, apresenta degraus no vertedouro, nos barramentos, altura máxima de 32,62m, extensão pelo coroamento de 216,25m e o seu vertedouro tem uma largura de 58,18 m, já a largura da crista é de 5,07m (Figura 3). Pau Ferro é composta também por duas galerias de drenagem, uma torre de comando posicionada no paramento de montante, cuja função é abrigar o sistema de acionamento das comportas das tubulações, a descarga de fundo e o abastecimento.





Figura 3 - Barragem Pau Ferro.

### 3.2 Coleta de informações

O levantamento primário das informações foi realizado através de teses, artigos acadêmicos, trabalhos de conclusão de curso e informações solicitadas a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), que é a responsável pela administração e manutenção da barragem. A COMPESA forneceu um relatório parcial do reservatório de 1998, realizado pela COTEC, nele existem prognósticos e dados básicos sobre a possível construção da barragem.

Diversas visitas a campo com registros fotográficos da Barragem Pau Ferro tiveram o objetivo de verificar através de inspeções visuais e manuais quais seriam as anomalias presentes no reservatório. A metodologia do Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragens (2016) recomenda percorrer todo o corpo da barragem, observando o seu arranjo por diferentes visões e localizando a maior de irregularidades.

As amostras das águas brutas foram coletadas por meio de garrafas PET (Polietileno tereftalato) de 1,5 litro e ambientado com água do local (Figura 4), os recipientes foram enxaguados cinco vezes com a água da coleta, com o propósito de evitar alterações nos resultados por fatores externos, como recomenda FEPPS (2017). O local escolhido foi próximo ao paramento de montante da barragem.



Figura 4 - Coleta da água no Rio Pirangi para análise (a). Água coletada próximo ao paramento de montante (b). O “X” marca onde as coletas foram realizadas (c) (Os autores “a” e “b” (2021); adaptado do Google Maps “c” (2021).

Logo em seguida, as amostras foram transferidas para as análises de laboratório. A primeira coleta foi realizada em maio de 2020, estação chuvosa na região, já a segunda em fevereiro de 2021, estação seca, pois de acordo com Lobón et al., (2015) e Fritzsos e Mantovani (2017), a qualidade da água pode variar de acordo com estações do ano e influência das precipitações.

### 3.3 Análise das informações

As análises físico-químicas das águas coletadas foram realizadas pelo Laboratório Aqualyse, localizado em Caruaru/PE, seguindo os padrões da Standard Methods of Analyses for the Examination of Water and Wastewater, 22ª Edição. As variáveis analisadas foram: Álcalis, PH, Açúcares, Nitrato, Chumbo, Fosfato, Cloreto, Sulfato e Zinco, sendo esses utilizados como parâmetros para verificar a qualidade da água, de acordo com o que é proposto pela norma NBR 15900-1/2009, que caracteriza os limites dos parâmetros monitorados como requisitos para água de amassamento do concreto.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Anomalias encontradas em Pau Ferro

De acordo com Cardia e Kuperamann e (2013), a confirmação do comportamento anormal da estrutura determina que sejam realizadas ações e a definição das intervenções necessárias. Almeida Júnior (2003) lembra que os custos de uma manutenção periódica das estruturas de concreto são extremamente inferiores quando comparados a uma situação de recuperação de características emergencial, em que a estrutura se encontra em situação de pré-colapso estrutural.

O objetivo da atual pesquisa foi analisar a qualidade da água de amassamento utilizada na construção da barragem e as anomalias encontradas no arranjo e ao redor da Barragem Pau Ferro. Foi constatada a presença de infiltrações e concreto com baixa qualidade nas galerias de drenagem da barragem, como também a deterioração do concreto no barramento de jusante submerso (Figura 5).

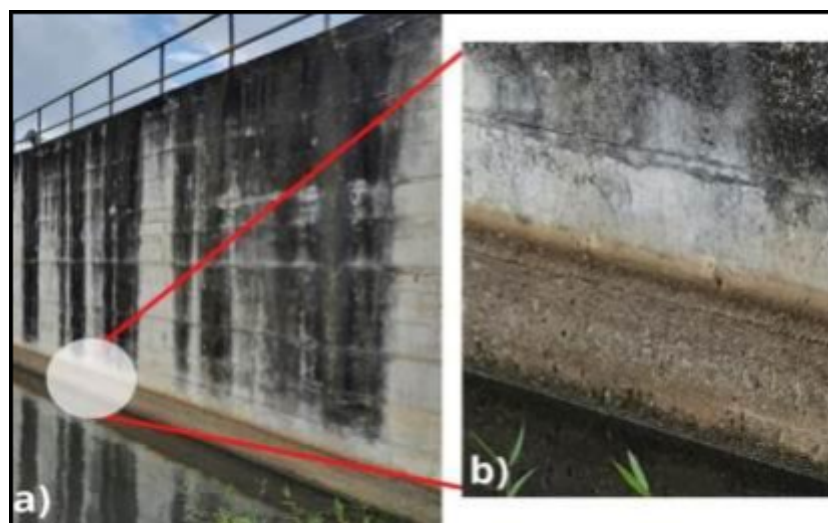


Figura 5 - Paramento de montante apresenta manchas (a). Detalhes da deterioração (b).

Ao ingressar na galeria de drenagem do barramento esquerdo, foi constatada a ausência de iluminação, como também inúmeras áreas de infiltrações que estão resultando em fluxos de água, concreto com bastante umidade, eflorescência com a formação de estalactites nas paredes, teto e degraus de coloração avermelhada. Estudos que desvendam as origens dessas anomalias com a finalidade de trazer a estanqueidade

novamente ao local são essenciais, bem como a averiguação da qualidade do concreto e o estado das armaduras que possivelmente entraram em processo corrosivo. As irregularidades descritas acima podem ser observadas na Figura 6.



**Figura 6** – Diversos pontos de infiltrações, paredes e teto com lixiviação, e corrosão da armadura do concreto.

Foi observada a existência de umidade nas paredes da galeria de drenagem que tem acesso pelo barramento direito, sendo possível observar na Figura tal anomalia, a seta em vermelho na mesma imagem, indica um ponto de infiltração com aspecto avermelhado possivelmente resultado da corrosão da armadura. Ainda na mesma galeria, um alto grau de deterioração do concreto foi observado (Figura 7), podendo ser facilmente extraído manualmente.



**Figura 7** – Umidade e ponto de infiltração com coloração avermelhada (a). Alto grau de deterioração do concreto (b).

É necessária a realização de ensaios e análises com o propósito de revelar a origem da baixa qualidade e deterioração do concreto presente na galeria de drenagem e assim encontrar a melhor maneira que possa anular essa anomalia, não podendo ser descartados cenários de deterioração química, além de falhas de projeção ou exceção.

#### 4.2 Análise físico-química da água de amassamento

Diante das diferentes manifestações patológicas encontradas no concreto da barragem, se fez necessário descobrir se a água utilizada na mistura da preparação do concreto está



de acordo com o que é proposto pela norma NBR 15900-1/2009. Águas que contenham contaminantes que ultrapassem os limites determinados pela norma podem causar a perda de resistência do concreto e conseqüentemente o surgimento de patologias. Para isso, foram realizados dois ensaios físico-químicos, seguindo a NBR 15900-1/2009, com a água armazenada pela barragem do Rio Pirangi, que de acordo com a OUIDORIA DA COMPESA (2021), essa água foi utilizada na mistura do concreto para execução do concreto da Barragem Pau Ferro.

As duas análises foram realizadas em períodos distintos, permitindo avaliar a possível interferência que um período chuvoso pode causar, com a entrada constante de água no reservatório, nas análises físico-químicas em questão. Os resultados do período chuvoso podem não transparecer os valores que condizem com a realidade em relação à época mais seca. A primeira análise foi realizada em maio de 2020 (Tabela 1), caracterizado por um período de grandes chuvas no município, já a segunda, em fevereiro de 2021 (Tabela 2) um período de chuvas escassas.

Tabela 1 - Análise físico-química da água de amassamento referente a maio de 2020.

| Ensaio                 | Resultado | Valor referência (VMP) |            |
|------------------------|-----------|------------------------|------------|
| PH                     | 6,70      | 6,0 – 9,5              |            |
| Álcalis (mg/L)         | 20,00     | < 1.500,00             |            |
| Açúcares (mg/L)        | 0,10      | < 100,00               |            |
| Chumbo (mg/L em Pb2+)  | < 0,010   | < 1,50                 |            |
| Cloreto (mg/L em Cl-)  | 20,00     | CONCRETO PROTENDIDO    | < 500,00   |
|                        |           | CONCRETO ARMADO        | < 1.000,00 |
|                        |           | CONCRETO SIMPLES       | < 4.500,00 |
| Fosfato (mg/L em P2O5) | 2,66      | < 100,00               |            |
| Nitrato (mg/L em NO3)  | 2,65      | < 500,00               |            |
| Sulfato (mg/L em SO4)  | 32,45     | < 2.000,00             |            |
| Zinco (mg/L em Zn)     | 0,17      | < 100,00               |            |

Fonte: Os autores (2021).

Tabela 2 - Análise físico-química da água de amassamento referente a fevereiro de 2021.

| Ensaio                 | Resultado | Valor referência (VMP) |            |
|------------------------|-----------|------------------------|------------|
| PH                     | 7,80      | 6,0 – 9,5              |            |
| Álcalis (mg/L)         | 20,00     | < 1.500,00             |            |
| Açúcares (mg/L)        | 0,08      | < 100,00               |            |
| Chumbo (mg/L em Pb2+)  | < 0,010   | < 1,50                 |            |
| Cloreto (mg/L em Cl-)  | 20,00     | CONCRETO PROTENDIDO    | < 500,00   |
|                        |           | CONCRETO ARMADO        | < 1.000,00 |
|                        |           | CONCRETO SIMPLES       | < 4.500,00 |
| Fosfato (mg/L em P2O5) | 0,00      | < 100,00               |            |
| Nitrato (mg/L em NO3)  | 0,00      | < 500,00               |            |
| Sulfato (mg/L em SO4)  | 14,13     | < 2.000,00             |            |
| Zinco (mg/L em Zn)     | 0,23      | < 100,00               |            |

Fonte: Os autores (2021).

Conforme a norma, o Álcalis não deve exceder ao teor de 1 500 mg/L, se isso ocorrer, a água poderá apenas ser usada se comprovadas que foram realizadas ações que previnam a reação álcali-agregada. Diante disso, contaminações na água de amassamento do concreto por substâncias como nitratos, açúcares, fosfatos, zinco e chumbo podem modificar a resistência do concreto e alterar o tempo, se não respeitados seus limites máximos. O teor de sulfato na água e o seu PH também não devem extrapolar os limites

máximos. É esperado também que os limites no cloreto não sejam ultrapassados, a NBR 12655/2015 esclarece como uma forma de proteger as armaduras do concreto.

Comparando os resultados dos ensaios das propriedades químicas, tanto na Tabela 1 quanto na Tabela 2, com os valores referências, é notável que esses resultados estão bem abaixo dos limites estabelecidos pela NBR-15900. Mesmo com a realização de análises em estações distintas, os resultados finais foram modestos, não havendo extrapolação dos valores limites. Dessa forma, pode-se concluir que a água, proveniente do Rio Pirangi, está de acordo com que é proposto pela norma que determina os requisitos da água para o amassamento do concreto.

Esses dois resultados são importantes, mas não são conclusivos em relação a se essa água é ou não responsável pelas anomalias presentes no concreto. Existem indícios que mostram essa ligação já que as duas análises realizadas em períodos distintos comprovam isso. Mas não uma certeza, porque para isso seriam necessários mais dados sobre a qualidade da água represada por Pau Ferro ao longo de uma série histórica.

### **5. Considerações finais**

A verificação dos agentes agressivos presentes nos insumos de produção do concreto é crucial antes de construir, isso implica em uma possível interferência na durabilidade do concreto, como foi visto na pesquisa, pode estar associada ao ambiente onde foi empregado ou possíveis contaminações que o material pode apresentar. Os projetos sobre a construção de Pau Ferro são inexistentes, sendo assim o presente trabalho teve como objetivo verificar uma possível ligação entre as manifestações patológicas presentes no concreto da Barragem Pau Ferro e a água de amassamento utilizada na construção do reservatório.

As realizações das análises físico-química da água de amassamento da atual pesquisa garantiram informações concretas a respeito dos parâmetros solicitados pela NBR 15900/2009 para o uso desse tipo de água. Isso proporcionou que o objetivo do trabalho fosse atendido, já que os ensaios físico-químicos revelaram que água de amassamento coletada na Barragem Pau Ferro é de boa qualidade e apresenta um forte indício de não ter causado as anomalias encontradas no concreto. Entretanto é extrema importância para estudos futuros uma análise que contenha mais informações em relação a evolução da qualidade da água ao longo do tempo e a realização de ensaios e avaliações sobre a real qualidade do concreto da barragem. Espera-se que os resultados obtidos estimulem a busca pela verdadeira causa das patologias encontradas na Barragem Pau Ferro.

A metodologia empregada foi vital para o desenvolvimento de toda a pesquisa. Todavia, limitações impediram a realização de um trabalho mais amplo, já que não existem informações detalhadas sobre as características do processo construtivo da barragem. A limitação de recursos financeiros permitiu a realização apenas das análises físico-químicas da água de amassamento, mas são necessários outros estudos e avaliações sobre as características do concreto, assim como a reatividade álcali-agregado, já que essa pode desencadear patologias no concreto. Isso vai garantir descobrir a origem das anomalias e a maneira correta de intervenção.

### **Referências**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro/RJ, p. 23. 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro/RJ, p. 11. 2009.

ALMEIDA JUNIOR, W. **Utilização de sistemas de injeção para a recomposição estrutural e tratamento de infiltrações das estruturas de concreto de usinas hidrelétricas.** XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Salvador/BA, 2003. 15 p. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/19409846-Utilizacao-de-sistemas-de-injecao-para-a-recomposicao-estrutural-e-tratamento-de-infiltracoes-das-estruturas-de-concreto-de-usinas-hidreletricas.html>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

ANA – Agência Nacional do Águas. **Diretrizes para a Construção de Barragens.** Brasília/DF, 2016. 67 p.

ANA – Agência Nacional do Águas. **Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem – Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume II.** Brasília/DF, 2016. 218 p.

BATTAGIN, G. A. F.; SILVA BATTAGIN I. L. **Qual o efeito da água na qualidade do artefato de cimento.** 2019. Entrevista Site Engenharia Compartilhada. Disponível em: <<https://www.engenhariacompartilhada.com.br/Noticia/Exibir/3625926>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

CARDIA, R. J.; KUPERMANN, S. **Anomalias em barragens: Curso de segurança de barragens.** 2013. 110 p.

CARDOSO, L. S.; SILVESTE, M. I. B. S.; SILVA, B. S.; TINÓS, R.; GOMES, C.A. **Uso do concreto compactado em rolo em barragens.** XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2007. 3 p.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento; COTEC – Consultoria Técnica Ltda. **1º Relatório parcial da Barragem Pau Ferro.** Recife/PE, 1998.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Inspeção de Segurança Regular na Barragem de Pau Ferro (2022).** Quipapá/PE, 2022.

FEPPS – Fundação Estadual de Produção e Pesquisa em Saúde; Secretaria da Saúde do Rio Grande do Sul. **Instrução de coleta de amostra de água para análises físico-químicas.** Porto Alegre/RS. 2017. 2 p.

FRITZSONS E.; MANTOVANI, L. E. **Alteração da qualidade de água em função das estações do ano e pontos de coleta numa bacia hidrográfica.** 14º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas/MG. 2017. 3 p.

GONÇALVES, G. R.; GODINHO, D. S. S. **Análise da influência da água de amassamento contaminada por elementos químicos oriundos de mineração de carvão nas propriedades do concreto.** Artigo (submetido ao Curso de Engenharia Civil como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil). UNESC-Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma/SC. 2016. 20 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/quipapa.html>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

KUCCHE, K. J.; JAMKAR, S. S.; SADGIR, P. A. **Quality of Water for Making Concrete: A Review of. International Journal of Scientific and Research Publications, ISSN:2250-3153, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2015.**

LAPA, S. J. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** Monografia (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA, A. B. **Análise das condições da água de amassamento utilizada no concreto produzido em obras da UFERSA, de acordo com as especificações da ABNT NBR 15900:2009.** Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

LOBÓN, G. S.; SCALIZE, P. S.; ANTUNES, I. M. H. R.; ALBUQUERQUE, M. T. D. **INFLUÊNCIA DAS CHUVAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA AO CONSUMO HUMANO.** XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. Poços de Caldas/MG, 2015. Disponível em: <<http://www.trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/5/1/t1t1e1a2015.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

MILANI FILHO, L. **O uso de Concreto Compactado com Rolo em barragens - Tendências futuras.** Tese (Mestrado em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá/MG. 2003. 106 p. Disponível em: <<https://xdocs.com.br/doc/uso-de-ccr-em-barragens-tendencias-futuraspdf-48ger5lgz7n2>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

Ministério Público de Pernambuco. Promotoria de Justiça de Quipapá. **Quipapá: condições estruturais da Barragem Pau Ferro é tema de audiência promovida pelo MPPE.** Disponível em: <<http://www.mppe.mp.br/mppe/comunicacao/noticias/11949-quipapa-condicoes-estruturais-da-barragem-pau-ferro-e-tema-de-audiencia-promovida-pelo-mppe>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

Ministério Público de Pernambuco. Promotoria de Justiça de Quipapá. **Quipapá: Após recebimento de denúncias, Barragem Pau e Ferro passa por vitória.** Disponível em: <<https://www.mppe.mp.br/mppe/comunicacao/noticias/11515-quipapa-apos-recebimento-de-denuncias-barragem-pau-e-ferro-passa-por-vitoria>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

**MOURA, F. M. P.** Estudo comparativo da verificação da estabilidade de barragens de gravidade de concreto compactado a rolo a partir de modelagem em elementos finitos e de métodos analíticos. **Salvador, 2016.**

NOGUEIRA, K. A. **REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: DIRETRIZES E REQUISITOS DA ABNT NBR 15577/2008.** Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2010.

OUVIDORIA DA COMPESA. **Resposta da Solicitação** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[gcon@ati.pe.gov.br](mailto:gcon@ati.pe.gov.br)> em 09 abr. 2021.

SANTI, M. R. A. **METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA PERDA DE MASSA EM BARRAGEM DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR).** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2008.

WEATHERSPARK.COM. **Clima característico em Quipapá Brasil durante o ano.** Disponível em: <[pt.weatherspark.com/y/31264/Clima-caracteristico-em-Quipapá-Brasil-durante-o-ano](http://pt.weatherspark.com/y/31264/Clima-caracteristico-em-Quipapá-Brasil-durante-o-ano)>. Acesso em: 12 mar. 2021.