

ESTABILIZAÇÃO DE UMA BARRAGEM ALTEADA A MONTANTE VISANDO A DESCARACTERIZAÇÃO

Henrile Pinheiro Meireles¹; Juliana de Paula Rezende²

Resumo

A Barragem B2A, localizada a montante de outra estrutura, foi considerada estável até 2017, conforme os critérios da legislação vigente à época. No entanto, com a atualização da legislação de segurança de barragens, sua classificação foi reavaliada, sendo declarada instável e enquadrada em nível de emergência. Diante desse novo cenário, foi conduzido um processo de estabilização ao longo de sete anos, envolvendo estudos geotécnicos, monitoramento contínuo e intervenções na estrutura. Como resultado, em março de 2024, a B2A foi oficialmente declarada estável, atendendo plenamente aos requisitos normativos e garantindo a segurança operacional. Este trabalho mostra as etapas do processo de estabilização e os desafios enfrentados na adequação à nova regulamentação.

Abstract

The B2A Dam, located upstream of another structure, was considered stable until 2017, according to the criteria of the legislation in force at the time. However, with the update of the dam safety legislation, its classification was reassessed, it being declared unstable and classified as an emergency level. Given this new scenario, a stabilization process was carried out over seven years, involving geotechnical studies, continuous monitoring, and interventions in the structure. As a result, in March 2024, the B2A was officially declared stable, fully meeting the regulatory requirements, and ensuring operational safety. This paper shows the stages of the stabilization process and the challenges faced in adapting to the new regulations.

Palavras-chave barragem, montante, estabilização.

¹Geól., MSc., CMIN henrile@hotmail.com

² Eng. Dra., CMIN juliana.rezende@ufv.br

1. Introdução

A barragem B2A, localizada nas coordenadas 7.769.879 N e 620.141 E (UTM - Datum SIRGAS-2000), na borda leste do Quadrilátero Ferrífero foi construída na década de 1990 sobre o reservatório de uma barragem pré-existente, chamada B2 (Figura 1), e por esse motivo recebeu a denominação B2A. O "A" significa "auxiliar", indicando que a barragem foi erguida sobre os rejeitos da barragem anterior. Foram realizados 7 alteamentos apoiados sobre o rejeito. Sua fundação está situada sobre blocos de canga e formações ferríferas, dispostos de maneira agulhada sobre o rejeito, que serve como base estrutural. Essa técnica de construção foi bastante comum na época, especialmente na região do Quadrilátero Ferrífero.

A B2A possui uma particularidade: o sistema de vertedouro estava localizado na parte central do maciço. Sua altura é de 32,5 metros, com capacidade de armazenamento de 6,7 milhões de metros cúbicos e comprimento de crista de 650 metros. O extravasor foi projetado para precipitação máxima provável (PMP).

A estrutura pertence a uma grande mineradora de ferro, que a adquiriu de uma pequena mineradora em 2007. Ela foi utilizada para disposição de rejeitos até 2014, quando passou por um processo de readequação. Nesse processo, o vertedouro central foi desativado e um novo vertedouro foi construído na ombreira esquerda.

Até 2017, a barragem B2A era regularmente atestada como estável, mas, com as mudanças na legislação, passou a ser considerada instável e classificada como nível de emergência 2.

A partir desse diagnóstico foi iniciado o processo de estabilização da barragem B2A com ações de rebaixamento e eliminação da lâmina de água do reservatório entre 2017 e 2018 tendo como objetivo a descaracterização após o término do processo de estabilização

Primeiramente foi implantado um canal de cintura na margem esquerda dos reservatórios das barragens B2A e B2 (Figura 01) para desvio das contribuições afluentes ao reservatório das barragens e outros afluentes secundários das áreas de contribuição dos reservatórios dessas barragens, objetivando a minimização do acúmulo de água em ambas às estruturas. Na sequência iniciou-se a retirada de rejeito a montante de modo a permitir o rebaixamento da freática, foram realizadas escavações no reservatório da estrutura (canais drenantes) que conduzem o fluxo para um sump a montante da estrutura.

Além disso, foram instalados 4 poços profundos de maneira a auxiliar no rebaixamento da superfície freática dentro da estrutura e, conseqüentemente, contribuir com os ganhos no processo de estabilização da estrutura.

Atualmente a barragem B2A atingiu os valores mínimos preconizados por norma nas análises de estabilidade geotécnica, por meio do processo de estabilização, sendo então iniciada as obras de descaracterização da mesma.

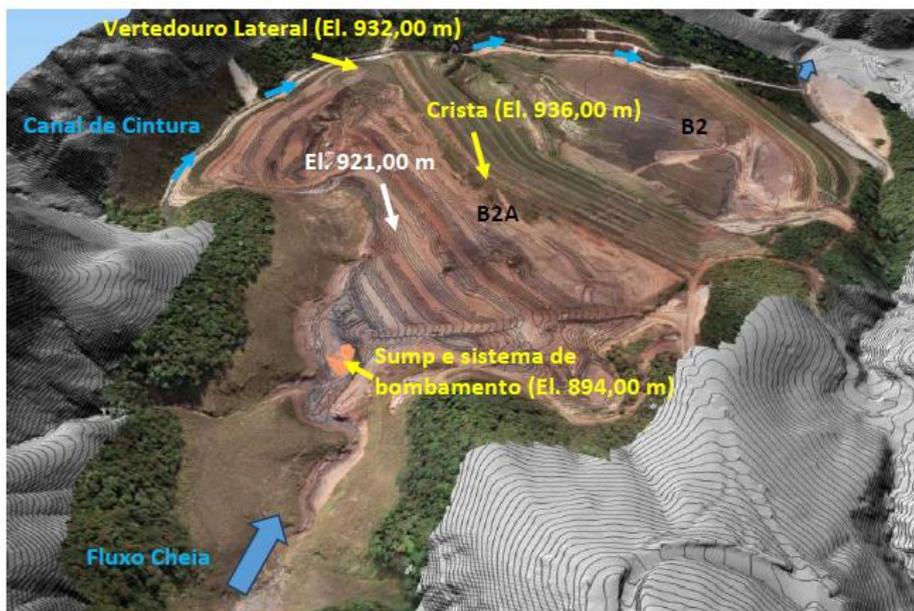


Figura 01 - Barragem B2A alojada sobre o reservatório da B2

2. Estabilização

O processo de estabilização da barragem teve início em 2017, com três etapas principais: a construção do canal de cintura, o rebaixamento do nível de água contido no rejeito por meio da remoção de rejeitos a montante e o rebaixamento adicional utilizando poços tubulares.

Canal de cintura: A construção do canal na margem esquerda do reservatório foi iniciada com o objetivo de desviar completamente a contribuição do Córrego dos Trovões. O projeto incluiu a instalação de uma bacia de decantação e uma área de amortecimento, para dissipar a energia hidráulica. O canal foi revestido com manta PEAD ao longo de toda a margem esquerda, sendo parcialmente sobre o rejeito e parcialmente sobre o terreno natural. Inicialmente, esse revestimento foi projetado para ser temporário, até a conclusão do processo de descaracterização da barragem. No entanto, após fortes chuvas que provocaram o rompimento da manta, o revestimento foi substituído por geocélulas preenchidas com concreto. Atualmente, o canal está dimensionado para suportar a precipitação máxima provável (PMP) e permanecerá em operação até a completa descaracterização da estrutura.

Cava de rebaixamento a montante: Após uma série de campanhas sistemáticas de sondagem e instalação de Instrumentos de Monitoramento (Indicadores de nível de água e piezômetros), foram definidos o nível de água (NA), a permeabilidade, a porosidade, a curva granulométrica, o risco de liquefação e o modelo hidrogeológico da área. Esses estudos permitiram o dimensionamento das bombas para o rebaixamento da água na cava, tanto em períodos de chuvas quanto em períodos de estiagem, de forma contínua. Ao longo dos últimos cinco anos, essa abordagem de rebaixamento tem promovido a inflexão da curva da superfície piezométrica (Figura 2), direcionando o fluxo de água para jusante e montante.

Para complementar o processo de rebaixamento, foi instalada uma drenagem dissecante na interface entre o rejeito e o terreno natural da margem esquerda. Ao longo desse período, a manutenção dos taludes foi realizada de forma contínua, com o objetivo de garantir a estabilidade dos taludes e das bermas, preservando a integridade do rejeito contido na barragem.

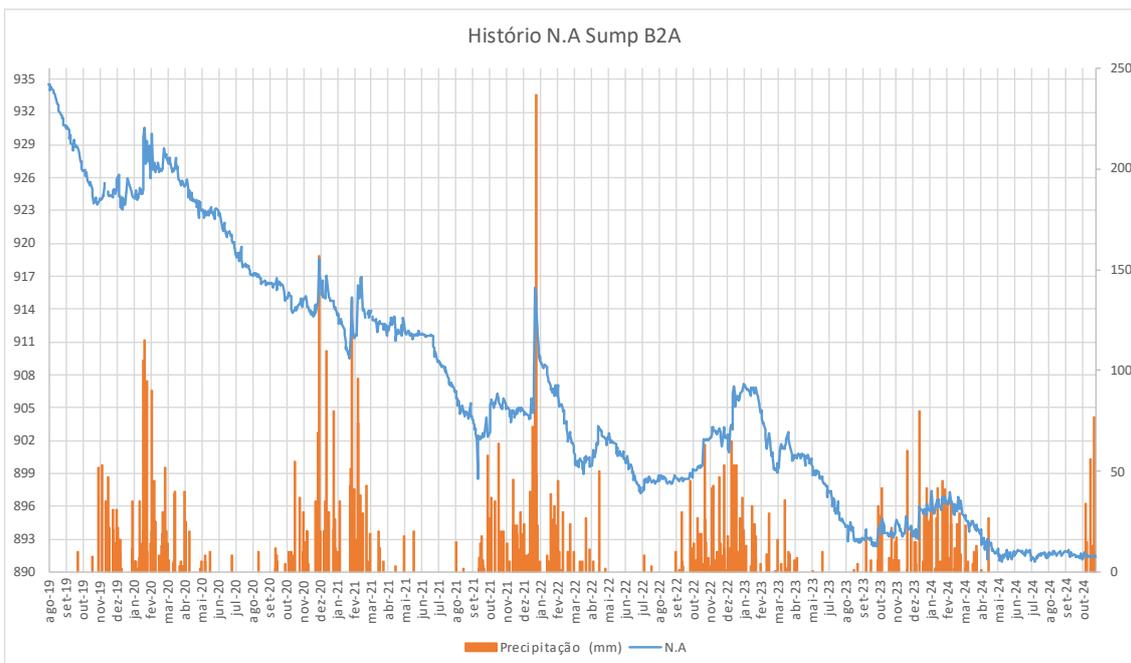


Figura 2 – Sazonalidade dos períodos de chuva e estiagem (curva descendente)

Poços tubulares: Nos últimos três anos, foram construídos seis poços tubulares com o objetivo de rebaixar o nível de água (NA). A localização desses poços foi inicialmente determinada por meio de um modelo hidrogeológico e um levantamento geofísico utilizando o método de eletrorresistividade. Esse levantamento gerou anomalias que indicaram as áreas com maior potencial de água e permitiu uma definição mais precisa da superfície primitiva. Com base nos resultados geofísicos, os poços foram localizados nos pontos mais favoráveis, principalmente nos centros dos talwegues que atravessam o reservatório.

O Modelo hidrogeológico foi construído em MODFLOW 6 (Langevin *et al.* 2021) utilizando-se das plataformas ModelMuse e Flopy (Bakker *et al.*, 2016). As referidas plataformas permitem a interface de diversas soluções open-source desenvolvidas em python ou outras linguagens para interação com o modelo permitindo a extração de dados do modelo nas seções de interesse e demais dados que seriam obtidos com maior dificuldade em plataformas semelhantes. O MODFLOW 6 resolve as equações de fluxo saturado subterrâneo através do método de diferenças finitas.

A primeira bateria de três poços foi instalada de forma estratégica: um em cada ombreira e o terceiro na parte central do reservatório. O desempenho desses poços foi excepcional, com uma resposta rápida e eficaz no rebaixamento do NA. Em seguida, um quarto poço foi construído próximo ao maciço, na face a montante, também com uma resposta imediata, conseguindo rebaixar de forma eficiente todo o sistema.

O controle dos efeitos do rebaixamento foi monitorado de perto, com foco na detecção de possíveis acomodações verticais ou horizontais que pudessem causar adernação do maciço para montante, formação de trincas ou movimentação das camadas de rejeito. O objetivo era evitar qualquer instabilidade, como a geração de recalques no maciço.

Para consolidar o rebaixamento da freática, foi construído um novo poço a jusante do maciço da B2A, no reservatório da B2 (Figura 3). Este poço foi projetado de forma precisa, atingindo o centro do talvegue principal, com resultados extraordinários que provocaram uma resposta imediata no nível da água. No entanto, devido as questões operacionais, esse poço foi danificado e retirado de operação. Em substituição, um novo poço foi construído mais próximo ao maciço da B2A. Com essa intervenção, foi possível quebrar um paradigma no uso de poços tubulares para rebaixamento de aquíferos em reservatórios de barragens, demonstrando a eficácia dessa abordagem.



Figura 3 – Localização dos poços tubulares de rebaixamento.

3. Monitoramento

Ao longo de todos esses anos, foi estabelecido um rigoroso sistema de monitoramento, incorporando tanto métodos tradicionais quanto tecnologias mais avançadas. O monitoramento incluiu a utilização de Indicador de Nível de Água (INAs), piezômetros (PZs), tanto automáticos quanto manuais, além de inspeções diárias e métodos geofísicos online totalmente automatizados. Uma rede abrangente de monitoramento foi criada para acompanhar a evolução do rebaixamento do nível de água (NA), bem como para gerenciar a sazonalidade ao longo dos anos, conforme ilustrado na Figura 2.

Para controlar qualquer desequilíbrio nas ondas S, foi instalada uma rede de geofones ao longo da crista da barragem, com o objetivo de eliminar quaisquer interferências de fatores antrópicos durante o processo de estabilização. Esse monitoramento foi realizado de forma contínua, 24 horas por dia, durante os últimos quatro anos.

Além disso, foi implementada uma rede de prismas, cujas leituras são feitas por uma estação robótica totalmente automatizada, também operando de forma contínua, 24 horas por dia, ao longo dos anos. Complementando esse sistema, uma rede de eletrodos fixos foi instalada para monitorar os movimentos verticais do NA dentro do maciço, tanto a montante quanto a jusante, seguindo a mesma metodologia de leituras contínuas.

Esse conjunto integrado de monitoramento possibilitou o equilíbrio operacional da barragem, garantindo uma operação segura e gerenciável ao longo do processo de estabilização.

4. Conclusão

O processo de estabilização da barragem B2A demonstrou a eficácia de uma abordagem integrada de engenharia, combinando metodologias clássicas e tecnologias inovadoras, para compreensão e controle das condições desta barragem. Técnicas tradicionais, como o mapeamento geológico e o uso dos conhecimentos de Dorr (1969), e modelos 3D de geofísica, foram aplicadas para aprimorar a interpretação do modelo hidrogeológico. Aliada ao desenvolvimento pioneiro, de um sistema automatizado de monitoramento geofísico por eletrorresistividade, que foi rigorosamente testado e aprovado.

A intersecção entre os cones de rebaixamento dos poços tubulares foi fundamental para estabilização da estrutura, refletindo na precisão das estratégias adotadas.

O envolvimento de uma equipe especializada altamente qualificada ao longo de cinco anos foi decisivo para a execução bem-sucedida do projeto, culminando na declaração oficial de estabilidade da barragem em março de 2024. Esse resultado reforça a importância da pesquisa, inovação e rigor técnico na segurança de barragens, consolidando a experiência adquirida como referência para futuros desafios na área.

Bibliografia

Dorr, J. N. (1969) Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. U.S. Geological Survey Professional Paper. 641-A; 1-110, 2d..

Langevin, C. H. (2021). MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.2.2: U.S. Geological Survey Software Release.

M. Bakker, V. P. (2016). Scripting MODFLOW Model Development Using Python and FloPy. Groundwater.