

Tamponamento de galerias em barragem de rejeito: estudo de caso

Plugging galleries in a tailings dam: a case study

Leandro Filgueiras (1), Almir Aparecido Corrêa (2), Douglas do Carmo Francisco (3)

(1) *Engenheiro Civil, Gerente técnico Construtora Gmaia – lfilgueiras15@gmail.com*

(2) *Engenheiro Civil, Consultor Autônomo – almir.correa@aedeng.com.br*

(3) *Engenheiro Civil, Engenheiro Geotécnico – douglasca97@hotmail.com*

Resumo

O artigo descreve o processo de tamponamento de galeria, o caso executado foi em uma barragem de rejeitos com fluxo de água em que a galeria tinha a função de drenagem, sendo composta por elementos pré-fabricados, com diâmetro de 80cm e extensão aproximada de 500m considerando do emboque ao desemboque. A galeria de drenagem era localizada no núcleo da barragem e através da realização de uma inspeção robotizada foram verificados pontos com fissuras ao longo das paredes da galeria apresentando percolação elevada, além de existir percolação também entre as peças pré-fabricadas, com essas anomalias havia o risco de comprometimento da estabilidade da barragem, definindo-se por executar o tamponamento e assim garantir a segurança da estrutura. No levantamento de campo para o planejamento dos trabalhos foi verificado que a falta de segurança não permitia o acesso interno, contribuindo para dificultar o processo. Além disso outras dificuldades como declividade acentuada e topografia irregular exigia um planejamento mais detalhado para que fossem criadas condições de execução da atividade com segurança, qualidade e dentro dos prazos esperados. Foi então definido o trecho que seria tamponado que possui 90m de comprimento localizado sob a maior altura do aterro, sendo esse o trecho mais crítico de toda a extensão da galeria, dentro do planejamento das etapas uma das mais importantes na garantia da estabilidade da estrutura foi a execução de reparo da percolação da galeria antes do tamponamento, esse reparo foi realizado através do método não destrutivo CIPP (*Cured In Place Pipe*). Outra etapa muito importante foi a definição do método de concretagem e de monitoramento quanto ao tamponamento total do trecho da galeria, garantindo a estanqueidade da estrutura dentro do maciço, essa constatação foi feita graças ao posicionamento das tubulações na galeria que indicaram de forma assertiva o avanço da concretagem nas tubulações. Todos os ensaios realizados com o concreto apresentaram valores de resistência à compressão superiores ao especificado em projeto e com isso garantindo a estabilidade do maciço.

Palavra-Chave: Galeria. Tamponamento. Tubulação. Segurança de Barragens.

Abstract

The article describes the gallery plugging process, the case performed was in a tailings dam with water flow in which the gallery had the drainage function, being composed of prefabricated elements, with a diameter of 80 cm and an approximate length of 500 m. considering from mouth to mouth. The drainage gallery was located in the core of the dam and through a robotic inspection, points with cracks along the gallery walls showing high percolation were verified, in addition to percolation also between the prefabricated parts, with these anomalies there was the risk of compromising the stability of the dam, defining itself by carrying out the buffering and thus guaranteeing the safety of the structure. In the field survey for the planning of the work, it was found that the lack of security did not allow internal access, contributing to make the process

difficult. In addition, other difficulties such as steep slopes and irregular topography required more detailed planning so that conditions were created for the activity to be carried out safely, with quality and within the expected deadlines. The section that would be buffered was then defined, which is 90m long located under the highest height of the landfill, which is the most critical section of the entire length of the gallery, within the planning of the steps, one of the most important steps to guarantee the stability of the structure was the execution of repair of the percolation of the gallery before the plugging, this repair was carried out through the non-destructive method CIPP (Cured In Place Pipe). Another very important step was the definition of the concreting and monitoring method regarding the total plugging of the gallery section, ensuring the watertightness of the structure within the massif, this finding was made thanks to the positioning of the pipes in the gallery that assertively indicated the advance of concreting in pipes. All tests carried out with the concrete showed compressive strength values higher than those specified in the project, thus guaranteeing the stability of the massif.

Key-words: Gallery. Plugging. Piping. DamSafety.

1 Introdução

De acordo com De Carli (2013), conforme a Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.784, de 21 de março de 2019, as barragens são classificadas como “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”.

A estabilidade da estrutura é garantida quando todas as fases de projeto, execução e monitoramento são feitas atendendo as regulamentações vigentes e com a qualificação necessária de acordo com a complexidade do empreendimento. Além disso é necessária uma instrumentação adequada e confiável e complementando com inspeção de todas as estruturas associadas do barramento, por especialistas, sendo as inspeções extremamente importantes para que sejam realizadas intervenções a fim de garantir a segurança da barragem ao longo de sua vida útil.

Falando um pouco sobre a segurança em barragens, entende-se que é de fundamental importância evitar rotas preferenciais de percolação, pois podem facilitar o carreamento de partículas do aterro e essa condição pode criar a instabilidade do maciço vindo a provocar a ruptura da estrutura. Quando uma barragem possui galeria de drenagem e nessa haver pontos de percolação de água no seu revestimento e vazios em sua interface solo x revestimento o tamponamento é por muitas vezes indicado.

De acordo com Kutner *et al.* (2005), as galerias são estruturas de proteção. Existem alguns tipos de galerias, como por exemplo, a galeria subterrânea, o termo tem sido atribuído a qualquer cavidade em forma de túnel e com diâmetro mínimo superior a um metro; a galeria de concreto armado é um elemento pré-moldado usado para compor elementos estruturais em obras de drenagem pluvial e esgotamento sanitário. Normalmente é fabricada em formato retangular com medidas padrão; as galerias de águas pluviais são um conjunto de tubulações que têm como objetivo captar, transportar e drenar a água da chuva das áreas urbanas até rios, córregos ou canais. A sua instalação e manutenção é de responsabilidade do poder público municipal.

Dentre o universo das galerias subterrâneas em barragens de terra e concreto, existe uma variação nos diâmetros, sendo alguns não acessíveis as pessoas, pelas condições de serviço ou pelo espaço reduzido interno.

Outro aspecto relevante é a presença ou não de fluxo interno nas galerias, situação na qual dificulta acesso, segurança, procedimentos executivos, resultando em escopo complexo para execução, necessitando de melhor planejamento, mais recursos e mão de obra especializada.

Algumas galerias são formadas por elementos em concreto pré-fabricados, existindo juntas de ligação entre as peças. Essas juntas devem ser solidarizadas e impermeabilizadas. Entretanto com o passar dos anos as juntas começam a apresentar percolação, sendo necessário injeção de resinas para conter a percolação.

Outro ponto importante é quando existem cavidades formadas entre o revestimento da galeria e face interna, aí deve-se realizar o preenchimento desses espaços através de injeção de poliuretano, conferindo simetria aos carregamentos atuantes e evitando percolação nesses vazios. Caso o revestimento esteja muito degradado, deve-se proceder recuperação estrutural nas seções de concreto.

Caso o revestimento apresente fissuras, o mesmo deve ser recuperado. Primeiramente deve-se realizar a avaliação da causa das fissuras, e proceder com o tratamento adequado da patologia, através de injeção de resinas estruturais nas fissuras, recomposição de armadura e etc.

Em sendo detectadas anomalias que comprometam a estrutura de uma galeria, deve-se analisar qual a ação mais apropriada a se tomar, o tamponamento é por muitas vezes uma técnica aplicável, de acordo com as características da estrutura.

De forma geral, conforme HSE (2002), o processo de tamponamento ou plugagem é realizado quando existe alguma alteração na utilização da galeria, por exemplo alteamento não considerado no cálculo de revestimento da galeria, pela perda de resistência do seu revestimento, oxidação das armaduras, patologias no concreto, sendo que as galerias estão presentes em maciços formados por rochas ou solo. Também é muito utilizado em minas fechadas ou em fechamento onde plugues estanques são instalados em poços e túneis para evitar ou limitar o fluxo de água da mina para razões ambientais.

Ainda conforme HSE (2002) deve-se buscar informações no contorno das galerias, para estimar as cargas solicitantes, níveis freáticos e a existência de vazios. Dessa forma, quando possível, realizar investigações por meio de sondagens, ensaios GPR (*Ground Penetrating Radar*), ultrassom e perfuração de poços exploratórios na vizinhança, pois possibilitam mais detalhes e informações de estratos permitindo uma avaliação mais refinada.

Conforme Farias *et al.* (2021), o tamponamento é relevante para as galerias e consiste no preenchimento destas com material especificado para a finalidade de aumentar as condições de estabilidade e resistência das galerias, garantindo estanqueidade ao sistema dentre outros aspectos.

Um dos materiais mais utilizados para o preenchimento das galerias é o concreto. Entretanto, de acordo com Brady; Brown (2004), com o desenvolvimento dos materiais outros componentes estão sendo estudados e utilizados para essas atividades de tamponamento, como calda de cimento e resinas expansivas, a fim de acelerar o processo e atender as características do escopo solicitado.

Para dimensionamento do comprimento do plug, no caso de galerias com fluxo de água, projetistas definem que o comprimento mínimo deve ser duas vezes a dimensão máxima da seção transversal. Também estabelecem que o gradiente hidráulico no plugue não deve exceder $500 \text{ kN} / \text{m}^2$. Entretanto, cada situação exige análise particular, necessitando de estudo específico para cada caso.

2 Referencial teórico

As barragens de rejeito são utilizadas para depositar os resíduos e a água gerados a partir do beneficiamento do minério. Para transformar o minério de ferro em um produto rico e que atenda as exigências do mercado internacional, ele precisa, primeiramente, passar pelo processo de beneficiamento (VALE, 2016).

O beneficiamento do minério consiste em separar o material valioso presente nos minerais do restante, que não tem valor comercial. Esse processo de separação geralmente requer a utilização de água e o consequente depósito dos resíduos em barragens (VALE, 2016).

Conforme Viana *et al.* (2012), as barragens são formadas a partir de um barramento maciço que pode ser feito de solo compactado, blocos de rocha ou rejeitos. Esse barramento possui mecanismos de impermeabilização e drenagem.

Em uma barragem de rejeito está sujeita a ocorrência de falhas que podem ao longo do tempo, se nada for feito, desestabilizar o maciço e vir a provocar um colapso na estrutura. Dentre os possíveis modos de ruptura de uma barragem de terra vamos destacar o modo de ruptura por piping, onde ocorre a erosão regressiva de jusante para montante com carreamento de partículas de solo pelo maciço, devido ao fluxo de água descontrolado de montante para jusante. Com isso, há o deslocamento de partículas do barramento, desestabilizando o equilíbrio de forças na matriz do solo e o respectivo estado de tensões no maciço por onde ocorre este fluxo. O fenômeno é progressivo até a formação de brecha e colapso da estrutura.

Uma barragem que tenha uma galeria de drenagem construída no interior do seu maciço e essa ao longo do tempo apresentar anomalias que comprometam sua função estrutural e por consequência a estabilidade da estrutura, tem que ser tratada da forma adequada visando recuperar a estabilidade adequada.

2.1 Tamponamento

Segundo Farias *et al.* (2021), quando existem problemas estruturais nestas galerias, o que fica claro, nas vistorias preventivas (recomendadas) o uso de análises estruturais, modelos e simulações de estabilidade, as mesmas passam a não atender as condições necessárias para a continuidade da operação e tornam-se um risco para todo o processo (produção, ambiental, físico, entre outros). Em tais situações, aplica-se o processo de tamponamento, denominado de plugagem e a subsequente construção de um vertedouro na superfície, para esgotar a água limpa. As plugagens são executadas como medida de segurança e prevenção a futuras situações emergenciais.

De acordo com Viana *et al.* (2012), a plugagem da galeria com concreto, argamassa, calda de cimento, ou qualquer material que permita a sua acomodação ou compactação, sem o uso de qualquer equipamento de vibração, sendo o mais usual, o concreto auto-adensável. Por meio do uso de bombas, tubulações apropriadas e um estudo de tração específico para cada situação, onde deverá ser levada em consideração a presença de água na galeria, os materiais disponíveis na região, a distância entre a usina de concreto até a obra e principalmente a distância entre a bomba de concreto e o local a ser concreto. Geralmente as concretagens são realizadas de jusante a montante, tornando essas distâncias muito grandes e desafiadoras.

O processo executivo de plugagens de galeria consiste na inspeção da galeria, seja ela robotizada ou inspeção humana, para levantar os principais pontos de infiltração a serem tratados antes do preenchimento total da mesma e até mesmo a catalogação geométrica, caso não tenha.

3 Resultados e Discussões

3.1 Problema Analisado

Este estudo de caso trata de uma barragem de contenção de sedimentos de mineração, construída em etapa única de aterro convencional, com 38,85m de altura, 230m de comprimento, capacidade de 2,117hm³. A galeria onde foi executado o tamponamento penetra transversalmente o núcleo do barramento e tem a função de drenagem, construída com elementos pré-fabricados, com diâmetro de 80 centímetros, extensão total de aproximadamente 500 metros.

A galeria estava com a estrutura comprometida apresentando fissuras com percolações consideráveis e podendo vir a desestabilizar o maciço da barragem. Com o levantamento em campo, verificando as diversas dificuldades como declividade acentuada, topografia irregular, fluxo contínuo de água e a galeria com estrutura comprometida, foi feita verificação de documentação e reuniões entre os envolvidos onde foi traçado o planejamento de execução.

Figura 1: Implantação da galeria antes da construção do acesso



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 2: Desemboque da galeria antes da construção do acesso



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

3.2 Metodologia

Em linhas gerais a definição da metodologia definida foi a de execução do tamponamento do trecho mais crítico da galeria, com extensão de 90m, definindo em detalhes as etapas para alcançar os resultados esperados.

A partir da análise foi definida a sequência executiva que consiste nas seguintes etapas:

- ✓ Montagem da passarela de suporte de madeira para que os funcionários possam ter acesso ao desemboque da galeria, para execução do tamponamento;
- ✓ Concretagem do emboque (pequena extensão);
- ✓ Limpeza do desemboque da galeria através do hidrojateamento e vídeo inspeção na galeria;
- ✓ Recuperação de seções comprometidas através do método CIPP;
- ✓ Posicionamento da tubulação;
- ✓ Tamponamento do plug utilizando concreto subaquático;

3.2.1 Montagem passarela de madeira – desemboque galeria

Foi realizada a análise do local à jusante e foi constatado que o acesso não seria possível de forma convencional, mediante condições de segurança no local e declividade acentuada. Sendo assim, dentro do planejamento, ficou definido um estudo para passarela de suporte, atendendo disposições estabelecidas pela NBR 7190: Projeto de estrutura de madeira e NBR 6120: Cargas Para o cálculo de estruturas, no que tange o dimensionamento da estrutura.

Foram realizados modelos de cálculo em elementos finitos e definição das seções dos elementos da estrutura, tipo de madeira, mediante ações de cálculo e geometria do problema.

Figura 3: Execução da passarela de acesso



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

3.2.2 Concretagem do emboque (pequena extensão)

Nessa etapa foi realizado bloqueio no emboque com ensecadeira, formada por sacos de solo cimento, possibilitando o trabalho nessa região.

Com a função de confinar o concreto foi utilizado um balão inflável como forma em uma das extremidades. A mesma foi inserida na galeria o máximo possível (entre 2 e 6 metros), através do emboque à montante.

Na outra extremidade é posicionada uma forma simples em madeira, escorada. O acesso do concreto é pela geratriz superior da galeria.

O tamponamento nessa região impedirá a entrada de água na galeria em função das chuvas e conseqüentemente a elevação do nível de água.

O tempo de execução dessa etapa foi:

- Tempo de preparo para concretagem: 01 dia.
- Tempo de execução: 01 dia.

Figura 4: Área de concretagem e inserção do balão inflável (forma)



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 5: Concretagem plug a montante



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

3.2.3 Limpeza do desemboque da galeria através de hidrojateamento e vídeo inspeção na galeria de jusante para montante

De acordo com Brady; Brown (2004), o hidrojateamento é a limpeza interna da galeria, realizada com caminhão com reservatório de água de alta pressão no sentido jusante para montante (no trecho que será realizado a plugagem principal).

Ainda conforme Brady; Brown (2004), o hidrojateamento é uma das tecnologias mais avançadas para limpar fossas e tubulações. Esse processo utiliza jatos de água com alta velocidade e pressão para remover a sujeira. Dessa forma, ocorre a desobstrução completa do encanamento. Nenhum detrito resiste à potência da água.

O monitoramento registrou patologias na estrutura da galeria pré-fabricada, no trecho a ser tamponado.

Figura 6: Inspeção robotizada



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 7: Patologias na estrutura da galeria pré-fabricada



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A Figura 7 mostra uma infiltração na galeria, onde se deve solucionar o problema para posteriormente ser realizado o hidrojateamento.

3.2.3 Recuperação de seções comprometidas através do método CIPP

Para recuperar possíveis pontos de fuga do concreto, foi utilizado o método de reparo pontual CIPP (*cured in place pipe*). Esse método é não destrutivo e consiste na introdução de uma camada inicialmente flexível, composto de resina reforçada com fibra de vidro internamente à galeria. Este método, após inflado, tem o seu tempo de cura entre 1,5 e 2,0 horas, adaptando-se ao formato do tubo existente, com cerca de 6mm de espessura, sem comprometer a seção interna útil da galeria.

De acordo com De Carli (2013), o método CIPP é utilizado para conserta-se apenas o ponto danificado, sem desperdícios e com alta redução de custo. Após a reparação com encamisamento pontual, a junta recupera a estanqueidade requerida.

A camada executada pelo método CIPP evitará a fuga do concreto durante o processo de tamponamento.

Figura 8: Desemboque galeria – Procedimento CIPP



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

3.2.4 Posicionamento da Tubulação

Mesmo com o tamponamento do emboque executado previamente e a realização do procedimento CIPP em algumas seções, a infiltração ainda continuou ocorrendo ao longo da galeria, por a mesma possuir elevada extensão.

Sendo assim, existia a necessidade de estruturar o sistema de bombeamento que possibilitasse a concretagem com condições adversas, ou seja, espaço saturado, com inclinação contra o sentido do fluxo, elevada extensão e sem possibilidade de acesso interno.

Com todas essas variáveis optou-se que o sistema adequado deveria ser composto com tubulações paralelas, com dispositivo que conduziria a vazão da água enquanto a concretagem ocorria, havendo assim tubulações responsáveis pela concretagem em trechos, evitando entupimentos e sinalizando o avanço da concretagem.

O posicionamento correto da tubulação favoreceu a entrada de ar nessas conexões, fazendo uma troca constante e aliviando a pressão causada pelos gases.

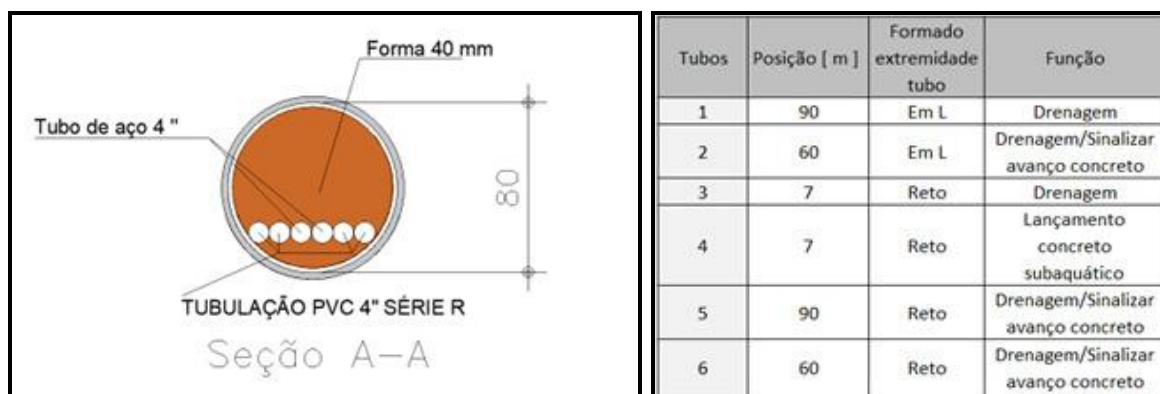
Para a execução dos trabalhos foram utilizadas tubulações de aço de 4'' e de PVC também de 4'' (série R), posicionadas no desemboque da galeria conforme a figura 9.

Figura 9: Desemboque galeria – Posicionamento das tubulações



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

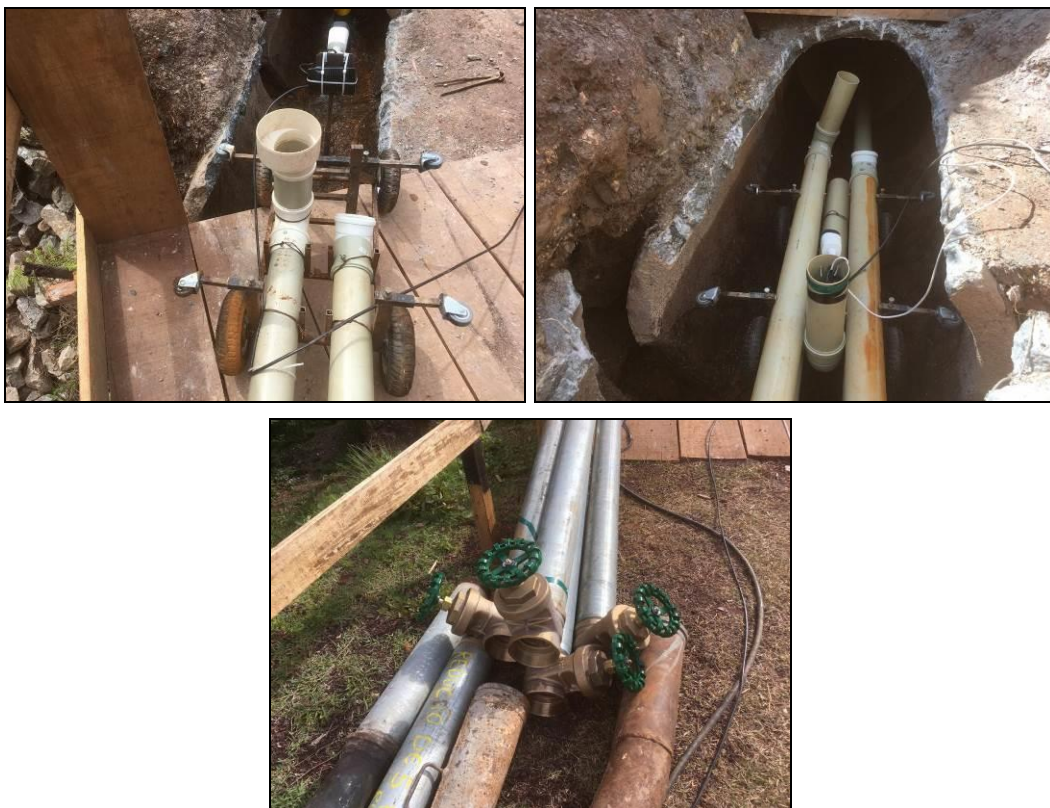
Figura 10: Seção com posicionamento das tubulações e suas funções



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

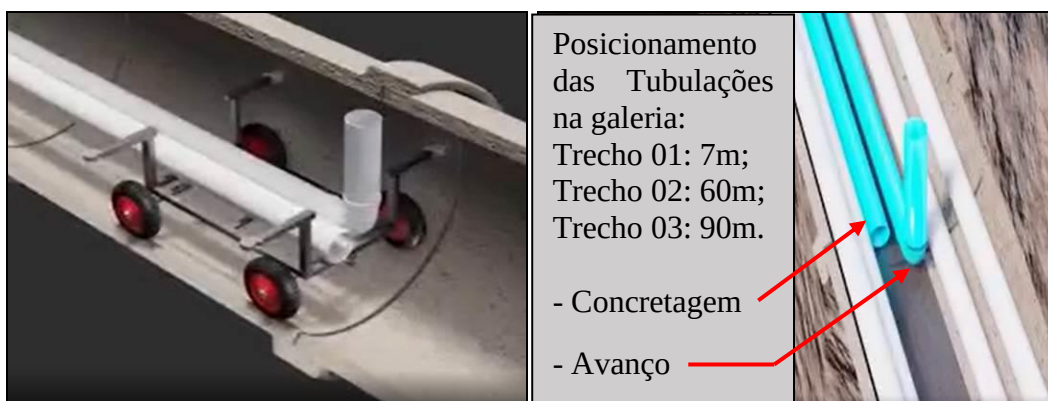
A figura 10 mostra o tipo das tubulações usadas em seção e uma tabela com as funções de cada uma.

Figura 11: Montagem das tubulações e início da inserção na galeria



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 12: Posicionamento da tubulação dentro da galeria – 7m, 60m e 90m

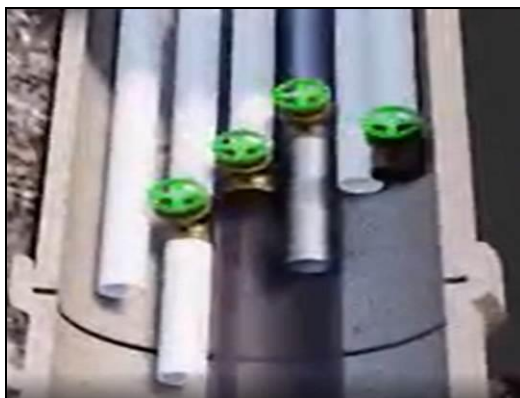


Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A Figura 12 detalha o posicionamento das tubulações dentro da galeria com auxílio de um mecanismo desenvolvido para apoio. O primeiro lance de tubulações com extensão de 7m que tinha como função inicial permitir a drenagem da galeria, o segundo e terceiro lances de tubulações com extensão de

60m e 90m, sendo 01 tubo para a projeção do concreto e um segundo tubo com formato em L na extremidade para indicar o avanço do concreto dentro da galeria.

Figura 13: Disposição das tubulações no desemboque



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Conforme visto nas figuras acima cada tubo posicionado tinha sua função para o perfeito funcionamento do sistema, visto que, demonstrou-se desde o início do procedimento de montagem das tubulações e início da inserção na galeria (Figura 11), como também o posicionamento da tubulação dentro da galeria – 7m, 60m e 90m (Figura 12) e finalmente a disposição das tubulações no desemboque (Figura 13). Os tubos mais curtos de 7m tinham a função inicial de permitir a drenagem da galeria.

Os tubos com sessenta metros lineares possibilitavam a concretagem e sinalizavam o avanço do concreto e os tubos com noventa metros finalizavam a plugagem.

Após todo esse sistema instalado na galeria, foi realizado o tamponamento do trecho inicial, que serviria como forma para plugagem do trecho mais extenso.

Figura 14: Execução de forma no desemboque para tamponamento



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 15: Execução da concretagem inicial



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 16: Concretagem realizada para tamponamento no desemboque



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A concretagem inicial da galeria com a função de forma para o tamponamento de maior extensão foi dimensionado a partir das cargas provenientes do empuxo hidrostático da água acumulada no interior da galeria, inclinação da mesma e posteriormente carga devido ao empuxo do concreto subaquático bombeado.

Figura 17: Desemboque da galeria – Sistema de tubos em operação



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Com o tamponamento do desemboque, a água que infiltrava ao longo da extensão da galeria começou a acumular, essa situação já havia sido prevista

pela equipe de planejamento, sendo assim, os tubos do primeiro lance de 7m começaram a realizar sua função inicial, que era de drenagem, com o objetivo principal de não haver pressões elevadas pelo acúmulo da água.

Foram realizadas coletas de corpo de prova do concreto submerso, com a finalidade de verificação de sua resistência, realizando ensaios à compressão e verificação do *flow*. Este tipo de teste (*flow*) se refere ao espalhamento do concreto fresco, analisando a classe de fluidez do concreto auto adensável. Porém, diferentemente do *slumptest*, em que o ensaio analisa o abatimento do tronco de cone, no *flow* a amostra se espalha em uma placa metálica, como demonstrado abaixo. A referência completa para esse ensaio está descrita na NBR 15823-2:2017.

Figura 18: Desemboque galeria – Ensaios *flow* teste coleta de CPs para ensaio à compressão



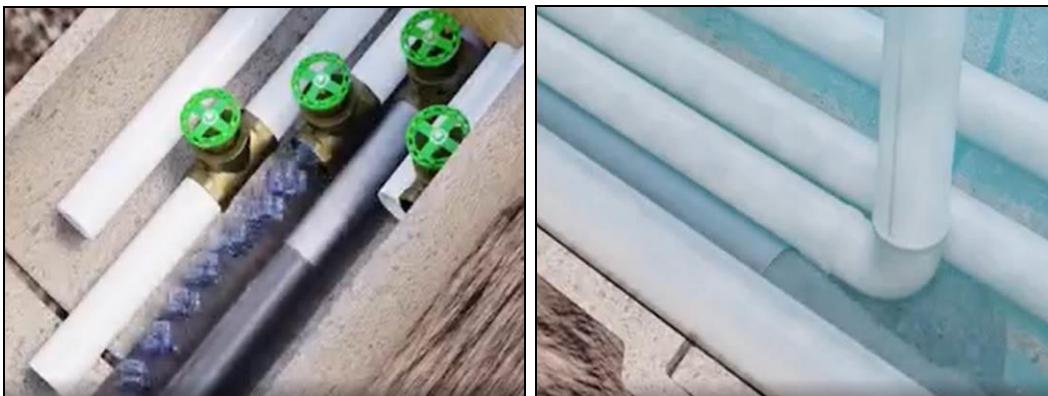
Fonte: Dados da pesquisa (2022).

3.2.5 Concretagem do *plug* utilizando concreto subaquático

Posteriormente a concretagem do tamponamento localizado à jusante, no desemboque, com a função de forma, foi realizado o tamponamento de maior extensão com concreto submerso onde a galeria estava inundada.

A todo momento foi realizado monitoramento do volume de concreto bombeado, compatibilizando com a geometria da tubulação e sinalização dos tubos, certificando que não havia perdas de concreto através das juntas da galeria pré-fabricada.

Figura 19: Mangote conectado no tubo de 7m com concreto subaquático saindo na galeria



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 20: Desemboque galeria – Bombeamento com concreto subaquático



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Assim, observou-se na Figura 18 que o bombeamento de concreto subaquático se deu de forma controlada, atingindo a tubulação posicionada à 60 metros, sinalizando o avanço no desemboque pelo retorno do concreto pela tubulação colocada em formato L indicando que o concreto atingiu a calota superior da galeria e conseqüentemente aos noventa metros, finalizando assim o processo de plugagem de galerias em barragem de rejeito.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desse estudo estudo de caso pode-se confirmar que os aspectos da drenagem em barragens de contenção de rejeitos, dentre as várias estruturas associadas, têm grande importância na estabilidade e confiabilidade do barramento, e as ações pertinentes para manter a integridade de galerias, como no caso estudado, contribui para reduzir o número de acidentes e danos ao meio ambiente.

A segurança de uma barragem se inicia na elaboração do projeto executivo, na execução do projeto de forma bem gerenciada e quando em operação no monitoramento da estrutura com equipe responsável qualificada, atendendo a regulamentação e melhores práticas de manutenção.

Conforme o estudo de caso apresentado, onde a galeria estava comprometida e podendo afetar a estabilidade da estrutura do barramento as ações de correção devem ser tomadas o mais rapidamente possível para retomar a confiabilidade da barragem. Nesse caso foi definido pelo tamponamento da galeria, como forma de solução do problema detectado, e aí alguns pontos de suma importância foram levantados no planejamento, como:

- A forma de execução
- Recursos necessários (materiais e humanos)
- Tecnologia aplicada;
- Tempo de execução;
- Ensaio necessários;
- Monitoramento do avanço da concretagem (certificação do preenchimento total do trecho tamponado);
- Resultados esperados.

Dentro do planejamento o tempo de execução de cada etapa era de fundamental importância e o resultado foi satisfatório com a realização dentro dos prazos esperados, conforme descrição abaixo e conforme o cronograma da figura 21:

- Preparação para tamponamento no emboque: executado em 01 dia.
- Execução do tamponamento no emboque: executado em 01 dia.
- Tempo de inspeção e tratamento pelo método CIPP: executado em 3 dias.
- Tempo de posicionamento das tubulações dentro da galeria: executado em 4 dias.
- Tempo de tamponamento do 1º trecho: executado em 01 dia.
- Tempo de tamponamento do 2º e 3º trechos: executado em 01 dia (após 4 dias de tempo de cura do 1º trecho que serviu também como forma)

Figura 21: Cronograma de Obra

		CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DE OBRA																
Descrição da Etapa	Cronograma	Dia 01	Dia 02	Dia 03	Dia 04	Dia 05	Dia 06	Dia 07	Dia 08	Dia 09	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 16	Dia 17
Montagem da passarela de suporte de madeira	Previsão																	
	Realizado																	
Concretagem do emboque	Previsão																	
	Realizado																	
Vídeo inspeção na galeria (jusante)	Previsão																	
	Realizado																	
Recuperação de seções comprometidas através do método CIPP	Previsão																	
	Realizado																	
Posicionamento das tubulações	Previsão																	
	Realizado																	
Tamponamento do 1º trecho	Previsão																	
	Realizado																	
Tempo de Cura do 1º trecho	Previsão																	
	Realizado																	
Tamponamento do 2º e 3º trechos	Previsão																	
	Realizado																	

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A utilização de concretos em ambientes aquáticos requerem um cuidado muito maior, nesse estudo de caso foi utilizado o concreto auto adensável submerso promovendo controles na execução com relação a possíveis aparecimento patologias devido a ataques químicos e físicos. Com o propósito de garantir que nas etapas de concretagem não ocorressem vazamentos, além do cálculo de volume previsto x volume aplicado, foi feito o monitoramento do preenchimento dos trechos da galeria pelas tubulações sinalizadoras.

Nas figuras 22, 23 e 24 estão detalhadas as características do concreto, agregados e consumo de materiais da obra.

Figura 22: Características do Concreto

Características do Concreto			
Resistência Caract. (FCK) :	0.00 Mpa	Consistência "Slump Test" :	70+/-5 cm
Média de Dosagem :	0 Dias	Diâmetro Máximo do Agregado :	12.50 mm
Módulo de elasticidade:		Relação água/cimento:	0.540 lt/kg
Módulo de Resistência à Tração na Flexão (MRTF):		Tipo de Lançamento :	Bombeável

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 23: Agregados Utilizados

Agregados Utilizados			
Insumos		Modulo de Finura	Densidade Real
AGREGADO MIÚDO	AREIA NATURAL RIO MEDIA	2.570	2.632 Kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO	AREIA ARTIFICIAL CALCARIO MEDIA	2.590	2.688 Kg/dm ³
AGREGADO GRAÚDO	BRITA GNAISSE 0	5.600	2.644 Kg/dm ³

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 24: Consumo de Materiais

Consumo de Materiais por Metro Cúbico de Concreto			
Insumos		Peso/m ³	Coef. Volumétrico
CIMENTO	CPV ARI RS	500.00 kg	
AGREGADO MIÚDO	AREIA NATURAL RIO MEDIA	929 kg	0.678 m ³
AGREGADO MIÚDO	AREIA ARTIFICIAL CALCARIO MEDIA	398 kg	0.256 m ³
AGREGADO GRAÚDO	BRITA GNAISSE 0	190 kg	0.143 m ³
ADITIVO	RECOVER GRACE ESTABILIZADOR DE HIDRAT	1.000 kg	0.893 lt
ADITIVO	STABI 520 MC BAUCHEMIE MOD. DE VISCOSI	1.250 kg	1.260 lt
ADITIVO	TECHNIFLOW 501 - SUPERPLASTIFICANTE	3.850 kg	3.606 lt
AGUA		270.00 lt	

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 25: Controle de Concreto Lançado

Plugagem 5,5 metros	Dimensao Galeria		
	Diâmetro interno	0,8 m	
	Área seção transversal	0,503 m ²	
	Extensao	55 m	
	Volume da galeria	27,65 m ³	
	Qt tubos vazios 100 mm	1	
	Volume ocupado pelos tubos	0,43 m ³	
	Volume de concreto efetivo	27,21 m ³	
Plugagem comprimento adicional	Dimensao Galeria		
	Diâmetro interno	0,8 m	
	Área seção transversal	0,503 m ²	
	Extensao	30 m	
	Volume da galeria	7,54 m ³	
	Qt tubos vazios 100 mm	1	
	Volume ocupado pelos tubos	0,236 m ³	
	Volume de concreto efetivo	7,30 m ³	
Total Concreto submerso lançado			
34,52			m ³

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Conforme detalha a figura 25 o volume total de concreto lançado para a realização do tamponamento foi de 34,52m³. A resistência a compressão do concreto chegou a 30Mpa com 28 dias.

O objetivo geral deste estudo de caso foi fazer uma análise sobre o tamponamento de galerias em barragem de rejeito e sua importância para restabelecer a segurança da estrutura.

Em função das particularidades para a execução da atividade, conforme pode ser demonstrado ao longo do artigo, foi necessária atenção especial no planejamento, disponibilização de todos os recursos necessários com antecedência, utilização de tecnologias mais inovadoras e menos invasivas, sendo desenvolvido projeto executivo e cronograma de execução contemplando todas as atividades.

Esta publicação visa contribuir com outros trabalhos correlatos mostrando de forma prática a execução do tamponamento de galeria em uma barragem de rejeito e que o método adotado e bem executado pode favorecer a segurança estrutural e ambiental de barragens.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>. Acesso em: julho de 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823:** Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/41702/nbr15823-2-concreto-autoadensavel-parte-2-determinacao-do-espalhamento-do-tempo-de-escoamento-e-do-indice-de-estabilidade-visual-metodo-do-cone-de-abrams>. Acesso em: julho de 2022.

BRADY, B.H., BROWN, E.T.. **Rock mechanics for underground mining**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004.

DE CARLI, C. **Análise de Projetos Limites:** Lavra a Céu Aberto VS Lavra Subterrânea. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. 2013.

ESPÓSITO, T. J. **Controle geotécnico da construção da barragem de rejeito – Análise da estabilidade de taludes e estudos de percolação**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1995.

FARIAS, Raíza Andressa Silva; SOUZA, Pedro Yamaguchi de; JESUS, Erisvaldo Bitencourt de. **Monitoramento de escavações das galerias da mina subterrânea da mineração Caraíba S/A**. 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/04/T-15-Raiza-Andressa-Silva-Farias.pdf>. Acesso em: julho de 2022.

FILGUEIRAS, Leandro. **Concrete plug section example**. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/mining/circulars/images/waterp2.gif>. Acesso em: julho de 2022.

HSE – HEALTH, SAFETY AND EXECUTIVE. **The circumstances surrounding the flooding and closure of Longannet Mine, Fife, Scotland**. 2002. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/mining/longannet.pdf>>. Acesso em: julho de 2022.

KUTNER, M.H., NACHTSHEIM, C.J., NETER, J., LI, W.. **Applied Linear Statistical Models**. McGraw-Hill Irwin, ed. 5, 2005.

SOUZA, M. M. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC**. Projeto de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

VALE. **Entenda o que são as barragens de rejeito**. 2016. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/barragem-acidente-samarco/Paginas/entenda-barragens-rejeito.aspx>. Acesso em: julho de 2022.

VIANA, J.P.; SILVA A.P.M.; CAVALCANTE, A.L.B. 2012. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas**. Relatório de pesquisa, IPEA, Brasília: 2012.