



UNIVERSIDADE POLITÉCNICA

Á POLITÉCNICA

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITÁRIO DE TETE - ISUTE

IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE DESAGUAMENTO NA BARRAGEM DE REJEITO:
CASO DA MINA DE CARVÃO DE MOATIZE-TETE, NO PERÍODO DE 2023-2024

Edson António de Almeida

Tete

2025

Edson António de Almeida

IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE DESAGUAMENTO NA BARRAGEM DE REJEITO:
CASO DA MINA DE CARVÃO DE MOATIZE-TETE, NO PERÍODO DE 2023-2024

Monografia de pesquisa apresentada à
Universidade Politécnica, Instituto Superior
Universitário de Tete – ISUTE como
requisito parcial para a obtenção do Grau de
Licenciado em Engenharia Civil.

Tutor: Eng. Navalha Jone Navalha Goposa

Tete

2025

Tutor: Lic. Navalha Jone Navalha Goposa

Parecer do Tutor:

Eu, Navalha Jone Navalha Goposa, orientador do estudante Edson António de Almeida, finalista do Curso de Engenharia Civil, Pós-laboral, declaro que a monografia com o tema: “Importância do Sistema de Desaguamento na Barragem de rejeito: Caso da Mina de Carvão de Moatize-Tete, no período de 2023-2024”, foi por mim orientado e está em condições para ser submetido para prova de defesa para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil do estudante em causa.

Por ser verdade, esta vai por mim assinada, como garantia de que a monografia foi da autoria do estudante e obdeceu aos preceitos científicos da elaboração e conclusão do mesmo.

Tete, Maio de 2025

Engº. Navalha Jone Navalha Goposa

Dedicatória

Dedico este trabalho de monografia ao meu filho Ghael de Almeida.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, e por me dar a Força e coragem para enfrentar as dificuldades da vida.

Aos meus colegas de trabalho do Departamento de Geotecnia e de turma que, sabiamente souberam entender e apoiar para o atingimento deste grande marco na carreira profissional.

A todos os funcionários da Vulcan Moçambique, SA que me receberam e acompanharam ao longo do estágio, tomando a minha integração neste departamento fácil e rápida.

Aos meus pais e meus irmãos, por serem os meus alicerces, minhas referências e companheiros da longa caminhada da vida.

Ao meu orientador, Engenheiro Navalha Goposa pela supervisão, pelo acompanhamento, pela cooperação e apoio constantes.

Agradeço a todo o corpo docente do Curso de Engenharia Civil, por todos os aprendizados repassado durante meu período no curso, essenciais para minha formação como profissional e para meu desenvolvimento como pessoa.

Em geral, agradeço a todos que contribuíram directa ou indirectamente para a conclusão do mesmo.

Resumo

A pesquisa tem como tema: Importância do sistema de desaguamento na barragem de rejeito: caso da mina de carvão de moatize-tete, no período de 2023-2024, que aborda a gestão de resíduos na mineração, destacando a importância do sistema de desaguamento nas barragens de rejeito, especialmente na Mina de Carvão de Moatize, em Moçambique. A gestão eficiente dos rejeitos é crucial para a segurança operacional e a minimização dos impactos ambientais, prevenindo deslizamentos e rupturas. O sistema de desaguamento remove o excesso de água dos rejeitos, aumentando a estabilidade das barragens e reduzindo riscos de falhas catastróficas. O problema da investigação é a falta de um sistema de desaguamento eficaz, que pode levar a incidentes ambientais. Os objectivos gerais e específicos deste trabalho visam analisar a eficácia do sistema de desaguamento, seu impacto ambiental e propor melhorias, com foco na prevenção de riscos ambientais e operacionais, bem como na garantia da segurança das operações de mineração. A justificativa do estudo se baseia na necessidade de garantir a segurança operacional e ambiental das atividades de mineração, considerando os riscos associados às barragens de rejeito. Quanto a metodologia esta pesquisa baseia-se na pesquisa do ponto de vista dos seus objectivos será uma pesquisa exploratória e descritiva, do ponto de vista dos procedimentos técnicos será pesquisa bibliográfica e estudo de caso, e quanto a forma de abordagem do problema a pesquisa é qualitativa. Para colheita de dados foi usado um questionario através de inquérito. Os resultados obtidos foram consistentes com as informações do perfil dos trabalhadores, familiaridade com o sistema, percepção da importância do sistema, desafios e problemas do sistema de desaguamento nas barragens de rejeito e sua eficácia. A maioria dos trabalhadores (45%) está muito familiarizada com o sistema de desaguamento, enquanto 30% estão familiarizados e 25% pouco familiarizados. Isso sugere uma necessidade de maior formação para aqueles menos familiarizados não existem nenhum trabalhadores dos inqueridos que não esta familiarizado. Sobre a percepção da importância do sistema, a maioria considera o sistema de desaguamento "muito importante" para a segurança da barragem, indicando a necessidade de manutenção e monitoramento rigorosos. Em relação aos desafios e problemas os principais desafios incluem redução de incidentes de segurança e nível de água na barragem dentro dos padrões. Da avaliação da eficácia do sistema de desaguamento da Mina de Carvão de Moatize, 60% dos trabalhadores avaliam o sistema como "muito eficaz", e 40% como "eficaz", sem respostas indicando baixa eficácia, as sugestões para melhorias incluem actualização de equipamentos e monitoramento contínuo. Sobre os benefícios de um sistema de desaguamento eficiente, os indicadores como "Redução de incidentes de segurança" ou "Nível de água dentro dos padrões" são métricas práticas e quantificáveis que podem ser usadas para monitorar o sucesso contínuo do sistema. Em conclusão, os resultados sublinham a importância crítica do sistema de desaguamento na barragem de rejeitos da Mina de Moatize. Embora a familiaridade e a percepção de sua importância sejam altas entre os trabalhadores, os desafios identificados apontam para a necessidade de melhorias específicas. A implementação de medidas corretivas será essencial para garantir a segurança contínua da barragem e a conformidade regulatória.

Palavras-Chave: Sistema de Desaguamento, Barragem de Rejeitos, Contaminação Ambiental, Mina de Carvão de Moatize-Tete.

Abstract

The research has as its theme: Importance of the dewatering system in the tailings dam: case of the Moatize-tete coal mine, in the period 2023-2024, which addresses waste management in mining, highlighting the importance of the dewatering system in the tailings dams, especially at the Moatize Coal Mine, in Mozambique. Efficient waste management is crucial for operational safety and minimizing environmental impacts, preventing landslides and ruptures. The dewatering system removes excess water from the tailings, increasing the stability of the dams and reducing the risk of catastrophic failures. The problem of the investigation is the lack of an effective dewatering system, which can lead to environmental incidents. The general and specific objectives of this work aim to analyze the effectiveness of the dewatering system, its environmental impact and propose improvements, with a focus on preventing environmental and operational risks, as well as ensuring the safety of mining operations. The justification for the study is based on the need to guarantee the operational and environmental safety of mining activities, considering the risks associated with tailings dams. As for the methodology, this research is based on research from the point of view of its objectives, it will be an exploratory and descriptive research, from the point of view of technical procedures it will be bibliographical research and case study, and as for the way of approaching the problem, the research is qualitative. A questionnaire was used to collect data through a survey. The results obtained were consistent with information on the workers' profile, familiarity with the system, perception of the importance of the system, challenges and problems of the dewatering system in tailings dams and its effectiveness. The majority of workers (45%) are very familiar with the dewatering system, while 30% are familiar and 25% are somewhat unfamiliar. This suggests a need for further training for those less familiar. There are no workers surveyed who are not familiar. Regarding the perception of the importance of the system, most consider the dewatering system "very important" for the safety of the dam, indicating the need for rigorous maintenance and monitoring. Regarding challenges and problems, the main challenges include reducing safety incidents and water levels in the dam within standards. From the evaluation of the effectiveness of the dewatering system at the Moatize Coal Mine, 60% of workers evaluate the system as "very effective", and 40% as "effective", with no responses indicating low effectiveness, suggestions for improvements include updating equipment and continuous monitoring. Regarding the benefits of an efficient dewatering system, indicators such as "Reduction in safety incidents" or "Water level within standards" are practical and quantifiable metrics that can be used to monitor the continued success of the system. In conclusion, the results highlight the critical importance of the dewatering system in the Moatize Mine tailings dam. Although familiarity and perception of its importance are high among workers, the challenges identified point to the need for specific improvements. Implementing corrective measures will be essential to ensure continued dam safety and regulatory compliance.

Keywords: Dewatering system, Tailings Dam, Environmental Contamination, Moatize-Tete Coal Mine.

Lista de Figuras

Figura 1- Mapa parcial de localização do Complexo Mineiro de Moatize com localização da Barragem de Rejeito Fino TSF01:.....	23
Figura 2- Barragem de rejeitos e o desastre em Mariana – MG:.....	28
Figura 3– Métodos Construtivos de Barragens de Rejeitos:.....	29
Figura 4- Esquema de projecto de instrumentação:.....	35
Figura 5- Diagrama de um programa de instrumentação:	35
Figura 6- Formas de entrada e saída de água das barragens:	36
Figura 7- A diferença ente o funcionamento e o ciclo de operação do filtro prensa de câmara simples e de membrana:.....	42
Figura 8- Esquema de funcionamento da prensa desaguadora da Andritz SMX-Q:.....	44
Figura 9- Fluxograma básico da prensa parafuso (C-Press da Andritz):	46
Figura 10- Corte típico do decanter centrífuga. 1- Alimentação do lodo; 2- Descarga de líquido clarificado; 3 – Descarga de sólidos (torta):.....	48
Figura 11- Decanter centrífuga Andritz instalada numa estação de tratamento de esgoto:	49
Figura 12- Decanter centrífuga Andritz instalada numa estação de tratamento de esgoto:.....	49

Lista de Quadros

Quadro 1- Exemplos de rupturas de barragens de contenção de rejeitos:.....	30
Quadro 2- Características da Barragem TSF01:.....	37
Quadro 3- Dados Gerais da Barragem TSF01:.....	37
Quadro 4- Comparação entre as principais tecnologias de desaguamento mecânico:	49

Lista de Tabelas

Tabela 1- Relação entre Produto e Rejeito:.....	27
Tabela 2- Principais causas de acidentes em barragens de rejeitos:.....	31
Tabela 3- Amostra para o estudo:.....	53

Lista de Gráficos

Gráficos 1- Função dos respondentes na mina de carvão de Moatize, Tete:.....	56
Gráficos 2- Experiência dos trabalhadores na Mina de Carvão de Moatize:.....	57
Gráficos 3- Nível de conhecimento dos trabalhadores sobre o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos:.....	58
Gráficos 4- Percepção dos trabalhadores sobre a importância do sistema de desaguamento:..	58
Gráficos 5- os desafios percebidos pelos trabalhadores sobre o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos:.....	59
Gráficos 6- Problemas que observam sobre as falhas graves no sistema de desaguamento na barragem de rejeito:	60
Gráficos 7- Avaliação da eficácia do sistema de desaguamento da Mina de Carvão de Moatize, Tete:.....	60
Gráficos 8- Medidas para melhorar a eficácia:.....	61
Gráficos 9- Medição do sucesso do Sistema:.....	61
Gráficos 10- Benefícios de um sistema de desaguamento eficiente:.....	62

Lista de Abreviaturas

Engº. – Engenheiro

Lic- Licenciado

Sr. – Senhor.

Lista de Siglas

ISUTE - Instituto Superior Universitário de Tete;

RSBR - Regulamento de Segurança de Barragem de Rejeitados

RWD - Return Water Dam

TSF - Tailing Storage Facility

RSBM - Regulamento de Segurança de Barragens de Mineração

DHP – Dreno Horizontal Profundo

Sumário

CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Delimitação do Tema.....	20
1.2. Problema da Investigação.....	20
1.3. Objectivos.....	21
1. 3.1. Objectivo Geral:.....	21
1. 3.2. Objectivos Especificos:.....	21
1.4. Hipóteses.....	21
1.5. Justificativa.....	21
1.6. Características do Ambiente de Estudo.....	22
1.7. Organização do Trabalho.....	23
CAPÍTULO II- REVISÃO DA LITERATURA.....	25
2.1. Mineração.....	25
2.1.1. Rejeito na Mineração.....	25
2.2. Barragens de Mineração.....	27
2.2.1. Legislação para a Construção e a Operação de Barragens de Rejeito em Moçambique	30
2.2.2. Principais Incidentes Envolvendo Barragens de Rejeito.....	30
2.2.3. Monitoramento das Barragens de Rjeitos na Mineração.....	32
2.2.4. Instrumentação de Barragens de Mineração.....	33
2.2.3.1. Operações de Barragens de Rejeito na Mina de Moatize.....	39
2.3. Sistemas de Desaguamento em Barragens de Rejeito.....	40
2.3.1. A Importância de Desaguamento Mecânico.....	40
2.3.2. Tecnologias e Equipamentos do Desaguamento Mecânico.....	41
2.3.2.1. Filtro Prensa.....	42
2.3.2.2. Prensa Desaguadora.....	43
2.3.2.3. Prensa Parafuso (C-PRESS).....	45
2.3.2.4. Centrifuga Decanter.....	48

2.4. Impacto Ambiental e Segurança Operacional do Sistema de Desaguamento na Barragem de Rejeito da Mina de Carvão de Moatize	50
2.4.1. Impacto Ambiental.....	51
2.4.2. Segurança Operacional.....	51
CAPÍTULO III- METODOLOGIA.....	53
3.1. Tipo de Estudo e Desenho de Pesquisa.....	53
3.2. População e Amostra	53
3.2.1. Amostra.....	53
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolhas de Dados.....	54
3.4. Procedimento Administrativos	54
CAPÍTULO IV-RESULTADOS.....	56
4.1. Apresentação dos Resultados	56
4.2. Leitura e Interpretação dos Dados Recolhidos.....	56
4.2.2. Desafios e Problemas do Sistema de Desaguamento da Barragem de Rejeitos na Mina de Carvão de Moatize, Tete.....	59
4.2.3. Eficácia do Sistema.....	60
CAPÍTULO V-DISCUÇÃO.....	63
5.1. Explicações dos Resultados Observados e suas Implicações	63
5.1.1. Segurança em Barragens de Rejeitos	63
5.1.2. Impacto Ambiental e Conformidade Regulamentar	63
5.1.3. Eficiência Operacional do Sistema de Desaguamento em Barragens de Rejeito	64
5.1.4. Tecnologias de Desaguamento e Sustentabilidade.....	64
5.1.5. Desafios Operacionais em Mineração de Carvão.....	65
5.1.6. Avaliação de Riscos e Medidas Preventivas	65
5.1.7. Implicações Práticas.....	66
CAPÍTULO VI- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	67
6.1. Conclusão.....	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

Epígrafe

“Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mais fazer uma história nova!”

Mahatma Gandhi

CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos resíduos gerados pela atividade mineira é um dos maiores desafios enfrentados pela indústria de mineração em todo o mundo. No contexto das barragens de rejeito, o sistema de desaguamento é essencial para garantir a segurança operacional e a minimização dos impactos ambientais. Este sistema visa a remoção do excesso de água dos rejeitos, contribuindo para a estabilidade das barragens e reduzindo o risco de falhas catastróficas, como deslizamentos e rupturas.

A Mina de Carvão de Moatize, localizada na província de Tete, Moçambique, é uma das maiores minas de carvão em operação no continente africano, e a gestão dos seus rejeitos é crítica para a sustentabilidade ambiental e a segurança das operações. No período de 2023 a 2024, a importância do sistema de desaguamento na barragem de rejeito dessa mina foi amplamente discutida e analisada por vários especialistas, dada a necessidade de mitigar riscos e garantir a proteção das comunidades circunvizinhas.

De acordo com Pereira e Santos (2018) destacam que o desaguamento adequado dos rejeitos é fundamental para reduzir a pressão hidrostática interna nas barragens, o que aumenta a estabilidade estrutural e minimiza o risco de acidentes. Além disso, estudos de Oliveira (2020) e Costa e Silva (2022) sublinham a importância do desaguamento na prevenção da contaminação de águas subterrâneas e superficiais, uma vez que o excesso de água nos rejeitos pode levar à percolação de substâncias tóxicas, com sérios impactos ambientais.

Durante o período em análise, a importância desse sistema torna-se ainda mais evidente, considerando os desafios ambientais e técnicos que a mina enfrenta. Durante esse período, as práticas de desaguamento estão sendo analisadas e aprimoradas para garantir que a barragem de rejeito opere dentro dos parâmetros de segurança exigidos, minimizando os riscos associados à instabilidade da barragem e mitigando os potenciais impactos ambientais negativos. A análise desses sistemas, fundamentada nas pesquisas e nas práticas desenvolvidas por diversos autores, visa fornecer uma compreensão abrangente dos benefícios e desafios associados ao desaguamento dos rejeitos, destacando sua relevância para a continuidade sustentável das operações mineiras em Moatize.

Este estudo visa analisar a importância do sistema de desaguamento na barragem de rejeito da Mina de Carvão de Moatize, abordando os principais desafios e as medidas implementadas entre 2023 e 2024 para assegurar a segurança operacional e a proteção ambiental. A análise se baseia

em dados coletados durante esse período, com o objetivo de fornecer insights valiosos para a gestão futura de rejeitos em operações mineiras similares.

1.1. Delimitação do Tema

Segundo Gil (2008), “a delimitação do tema envolve definir o escopo da pesquisa de maneira clara e específica, estabelecendo os limites geográficos, temporais e conceituais. Isso ajuda a garantir que a pesquisa seja viável e focada”. Nesse contexto a Mina de Carvão de Moatize, localiza-se na Província de Tete, em Moçambique, com sede na vila de Moatize. Tem limite, a norte com o distrito de Tsangano, a noroeste e oeste com o distrito de Chiuta, a sudoeste com o distrito de Changara e a cidade de Tete, a sul com os distritos de Guro e Tambara da província de Manica, a sudeste com o distrito de Mutarara e a leste com o Malawi. A pesquisa se concentrará especificamente na área da Mina de Carvão de Moatize, incluindo as instalações da barragem de rejeitos e áreas circundantes diretamente afetadas pelo sistema de desaguamento.

Como limitações temporais, o período de estudo será do anos de 2023 e 2024: a análise será limitada aos eventos, dados e mudanças ocorridas durante esse período. Isso inclui a avaliação de incidentes, implementações de novas tecnologias, manutenções e auditorias realizadas nesses dois anos. E como limitações conceituais, a pesquisa irá se basear em seguintes aspectos: segurança estrutural, impacto ambiental, eficiência operacional, conformidade regulatória, desafios e melhorias.

1.2. Problema da Investigação

Durante o acompanhamento diária das actividades operacionais na Mina de Carvão de Moatize-Tete, constatou-se que as águas captadas através do Dreno Horizontal Profundo (DHP) da barragem de rejeito TSF01, que passa pelo sistema de bombeamento e que são encaminhadas para as bacias de retorno o RWD, este sistema de bombeamento que permite controlar o nível de água no reservatório e que constitui um requisito de segurança previsto no RSBR (art.21 e art .35), encontra-se inoperacional devido a retirada dos painéis eléctricos de acionamento do sistema. A situação não constitui um risco estrutural pois o extravasor permitirá a descarga de água em caso de um evento excepcional, contudo, estas descargas de água para jusante representam um incidente ambiental pelo seu potencial de contaminação dos cursos de água. Portanto, diante desta situação coloca-se a seguinte questão: **“Quais são os desafios e as implicações da falta de um sistema de desaguamento eficaz na barragem de rejeitos da Mina de Carvão de Moatize, Tete, durante o período de 2023-2024?”**

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral:

- Analisar a importância e a eficácia do sistema de desaguamento na barragem de rejeito da Mina de Carvão de Moatize-Tete, durante o período de 2023-2024, com foco na prevenção de riscos ambientais e operacionais, bem como na garantia da segurança das operações de mineração;

1.3.2. Objectivos Especificos:

- Avaliar a eficiência do sistema de desaguamento atualmente em uso na barragem de rejeito da Mina de Carvão de Moatize-Tete.
- Investigar os impactos ambientais e sociais causados pela ausência ou inadequação do sistema de desaguamento na referida barragem.
- Investigar os métodos de desaguamento mecânico mais adequados para a barragem de rejeito da Mina de Carvão de Moatize-Tete
- Desenvolver um plano de monitoramento e instrumentação para o sistema de desaguamento, visando a segurança estrutural e ambiental.

1.4. Hipóteses

Hipótese Nula (H_0): O sistema de desaguamento da barragem de rejeitos da Mina de Carvão de Moatize não tem impacto significativo na segurança estrutural, no meio ambiente ou na eficiência operacional da barragem durante o período de 2023-2024.

Hipótese Alternativa (H_1): O sistema de desaguamento da barragem de rejeitos da Mina de Carvão de Moatize tem um impacto significativo na segurança estrutural, no meio ambiente e na eficiência operacional da barragem de durante o período de 2023-2024.

1.5. Justificativa

A escolha do tema, "Importância do Sistema de Desaguamento na Barragem de Rejeito: Caso da Mina de Carvão de Moatize-Tete, no Período de 2023-2024" baseiou-se na necessidade crítica de garantir a segurança operacional e ambiental das actividades de mineração. Barragens de rejeito representam um risco significativo se não forem devidamente geridas, podendo resultar em desastres ambientais e humanos, como já observado em incidentes globais. O

sistema de desaguamento é um componente essencial na gestão desses rejeitos, pois previne o acúmulo excessivo de água, reduz a pressão sobre as estruturas da barragem e minimiza o risco de rompimento.

No contexto específico da Mina de Carvão de Moatize-Tete, em Moçambique, a avaliação da eficácia do sistema de desaguamento é fundamental para assegurar a continuidade das operações de forma sustentável, proteger as comunidades locais e preservar o meio ambiente. Com as mudanças climáticas e a intensificação das operações mineradoras, torna-se ainda mais relevante compreender e otimizar este sistema. Assim, o estudo é justificado pela necessidade de melhorar a segurança e eficiência das operações de mineração, alinhando-se com as melhores práticas internacionais e as exigências regulamentares do sector.

1.6. Características do Ambiente de Estudo

A Mina de Carvão de Moatize localiza-se no Posto Administrativo (PA) e Distrito de Moatize, Província de Tete. A área da Concessão Mineira (onde se insere o Projecto), localiza-se a cerca de 15 km (por estrada) a Este da capital da Província e encontra-se rodeada pelas planícies de inundação dos rios Revúbuè e Zambeze.

A Concessão Mineira 867C da Vulcan, válida até 1 Março de 2032, abrange 23 780 hectares, destacando-se como principais elementos geográficos a Cidade de Moatize; o Rio Revúbuè que limita superiormente o sector norte da Concessão; o Rio Moatize a NE; o Rio Muarazi que limita inferiormente o sector sul e a Mina de Benga (no sector SW). Destaca-se igualmente a presença na Concessão de várias infra-estruturas rodoviárias (estrada nacional) e linhas férreas como o Corredor de Nacala e Linha do Sena (Figura 1).

As barragens de rejeito da Mina de Carvão de Moatize, localizada na província de Tete, Moçambique, são estruturas críticas que desempenham um papel fundamental na gestão dos resíduos gerados durante a extração e processamento do carvão. Essas barragens são projetadas para armazenar rejeitos, que são os materiais não aproveitados ou que não têm valor econômico, resultantes da atividade mineradora.

A Mina de Carvão de Moatize é uma das maiores minas de carvão em Moçambique e tem atraído investimentos significativos, especialmente de empresas internacionais. A exploração do carvão em Moatize começou a se intensificar a partir de 2011, e a mina tem sido um importante motor econômico para a região e para o país. No entanto, a actividade mineradora também tem gerado preocupações ambientais e sociais, especialmente relacionadas à gestão de resíduos e aos

impactos sobre as comunidades locais. A figura abaixo mostra a planta parcial do complexo mineiro de Moatize, com destaque para a barragem TSF01 e indicação dos seus componentes principais.

Figura 1- Mapa parcial de localização do Complexo Mineiro de Moatize com localização da Barragem de Rejeito Fino TSF01:



Fonte: Vulcan Moatize: Departamento de Topografia (2023)

1.7. Organização do Trabalho

Para um melhor entendimento, o trabalho está organizado em VI capítulos: no capítulo 1 será apresentada a introdução, delimitação do tema, problema da investigação, hipóteses da investigação, objectivos, justificativa e características do ambiente de estudo. A seguir no capítulo 2, será apresentada uma breve descrição da revisão da literatura da pesquisa bibliográfica e documental para extrair o máximo de informação sobre o tema que enfatiza o Tempo de Ciclo de Transporte, Sistema de Despacho, Estratégia de Otimização Dispatch, Produção e produtividade dos equipamentos de transporte pelo sistema de despacho electrónico, Ciclo de Produção, Exceções Geradas pelo Despacho, Base de Dados (BD), Comunicação e Principais Componentes do sistema de despacho. A seguir, no capítulo III metodologia utilizada para a realização do trabalho, tipo de estudo e desenho de pesquisa, população e amostra, técnica e instrumento de recolha de dados e procedimento administrativos. A seguir, no capítulo IV será apresentada os resultados a partir da apresentação dos resultados administrado aos funcionários,

e por fim proceder-se-á à leitura e interpretação dos dados recolhidos. O capítulo V discursão, que consistirá na análise e explicação dos resultados observados e suas implicações, à luz dos modelos teóricos e estudos de outros autores apresentados na revisão da literatura. No capítulo VI será apresentada as conclusões da monografia e recomendações do trabalho futuro. Também fará parte do trabalho os elementos pós-textuais como referências bibliográficas, apêndices e anexos.

CAPÍTULO II- REVISÃO DA LITERATURA

Nesta secção é apresentada uma breve revisão bibliográfica dos principais conceitos da Mineração, Barragens de Mineração, Monitoramento das Barragens de Rejeitos na Mineração, Instrumentação de Barragens de Mineração, Sistemas de Desaguamento em Barragens de Rejeito, também vai se abordar as Operações de Barragens de Rejeito na Mina de Moatize, a Importância de Desaguamento Mecânico, Tecnologias e Equipamentos do Desaguamento Mecânico entre outros subtítulos citadas ao longo deste trabalho de monografia.

2.1. Mineração

Segundo Enriques (2007), Mineração é uma palavra que deriva do latim medieval - mineralis - relativo a mina e a minerais. Da ação de cavar minas criou-se o verbo "minar" no século XVI e, em consequência da prática de se escavar fossos em torno das fortalezas, durante as batalhas, com a finalidade de fazê-las ruir, adotou-se a palavra "mina" para designar explosivos militares.

De acordo com Ataíde (2022), a mineração é uma actividade econômica do setor primário que se traduz no conjunto de processos que visam a extração e beneficiamento de insumos minerais em subsuperfície. O aporte de minérios se torna matéria-prima para grande parte dos produtos que caracterizam o modo de vida da sociedade contemporânea, desde o plástico até equipamentos eletrônicos e computadores de alta performance e que provoca uma série de impactos ambientais, como por exemplo: degradação da paisagem, desmatamento, poluição e contaminação de recursos hídricos, poluição do solo e do ar e geração de resíduos e disposição inadequada de rejeitos.

2.1.1. Rejeito na Mineração

Segundo Ávila (2008), o rejeito é o material resultante das actividades extrativas da mineração que envolve processo de beneficiamento do minério. Os rejeitos são materiais finos contendo partículas em suspensão em meio aquoso formando lamas ou podem ser sólidos e particulados de granulometria fina.

Para Chammas (1989); o rejeito é uma dosada mistura de água e sólido visando a racionalidade do seu manuseio, transporte e disposição. A mesmo passa por três estados de comportamento até atingir a sua condição final de deposição:

1º Estado: estágio inicial do rejeito com comportamento líquido necessário ao seu transporte por via hidráulica, denominado de polpa;

2º Estado: estágio intermediário correspondente ao processo de sedimentação, com comportamento semilíquido e semi-viscoso;

3º Estado: estágio em que ocorre o processo de adensamento e que corresponde ao rejeito propriamente dito comportando-se como um solo arenoso ou argiloso, dependendo de sua granulometria.

O rejeito tem a característica granulométrica variada dependendo do tipo de processo e beneficiamento. A sua granulometria pode variar de areias finas a coloides, apresentando 70 a 75% de porcentagem de sólido na polpa. Pode ser classificado de acordo com a sua toxicidade, de acordo com a NBR 10.004/1987 de acordo com Chammas (1989):

- Classe 1- Perigoso;
- Classe 2- Não perigoso;
- IA- Não Inerte;
- IB- Inertes.

De acordo com Abrão (2010), o material rejeitado no beneficiamento aponta três características fundamentais para o seu método de disposição do rejeito, com essas características podemos avaliar e apresentar um método de armazenamento mais eficaz. Os estudos das variáveis do material rejeito apresentam pontos importantíssimos para os quais temos que levar em consideração: o desaguamento da matéria que é a concentração de sólidos e água no rejeito, o tipo de transporte a ser utilizado, tamanho da área da bacia de contenção do rejeito, quais os tipos de aditivos a serem utilizados e quais os equipamentos mais adequados para cada tipo de material rejeitado. Esses tipos de rejeito são classificados como:

- Rejeito Espessado;
- Rejeito em pasta
- Rejeito em polpa (método convencional).

De acordo com o quadro abaixo, temos uma relação de quantidade de substância mineral que alimenta o processo e substância que deixa o processo, tendo assim uma relação de produto e rejeito observado abaixo.

Tabela 1- Relação entre Produto e Rejeito:

Substâncias Mineral	Produto (em t.)	Rejeito (em t.)
Ferro	0,61	0,39
Carvão	0,25	0,75
Fosfato	0,17	0,83
Cobre	0,03	0,97
Ouro	0,00001	0,99999

Fonte: Resende, (2015).

As substâncias minerais valiosas, que são o objectivo da extração durante o processo de mineração, não são armazenadas em barragens de rejeito. As barragens de rejeito são especificamente destinadas a armazenar os resíduos do processo de mineração, que incluem materiais que não possuem valor comercial significativo, como: Partículas finas de rocha e minerais não valiosos, água residual e lama e sedimentos.

2.2. Barragens de Mineração

De acordo com (Machado, 2007), as barragens de rejeitos são estruturas construídas pelas empresas mineradoras para reunir e armazenar os rejeitos produzidos em larga escala no processo de beneficiamento do minério. (Maturano, 2012) complementa essa definição ao apontar que uma barragem de rejeito é uma estrutura de terra construída para armazenar os rejeitos da mineração, estes por sua vez são definidos como uma fração estéril obtidos pelo beneficiamento do minério em processos que separam o minério bruto em concentrado e rejeito.

De acordo com Machado (2007), as barragens de rejeitos são estruturas construídas pelas empresas mineradoras para reunir e armazenar os rejeitos produzidos em larga escala no processo de beneficiamento do minério.

Segundo Maturano (2012) uma barragem de rejeito é uma estrutura de terra construída para armazenar os rejeitos da mineração, estes por sua vez são definidos como uma fração estéril obtida pelo beneficiamento do minério em processos que separam o minério bruto em concentrado e rejeito.

Mafra (2016) ainda explica que os barramentos podem ser executados com material proveniente de áreas de empréstimo, estéril ou com o próprio rejeito do beneficiamento (opção mais comum), desde que tratado e que atenda especificações geotécnicas de projeto. Para tanto, este

rejeito é passível de processos adicionais como a ciclonagem, para deslamagem, passando a ser chamado de aterro hidráulico.

Figura 2- Barragem de rejeitos e o desastre em Mariana – MG:



Fonte: <https://petciviluem.com/2015/11/22/barragem-de-rejeitos-e-o-desastre-em-mariana-mg/>. Acessado ao 10 de Agosto de 2024.

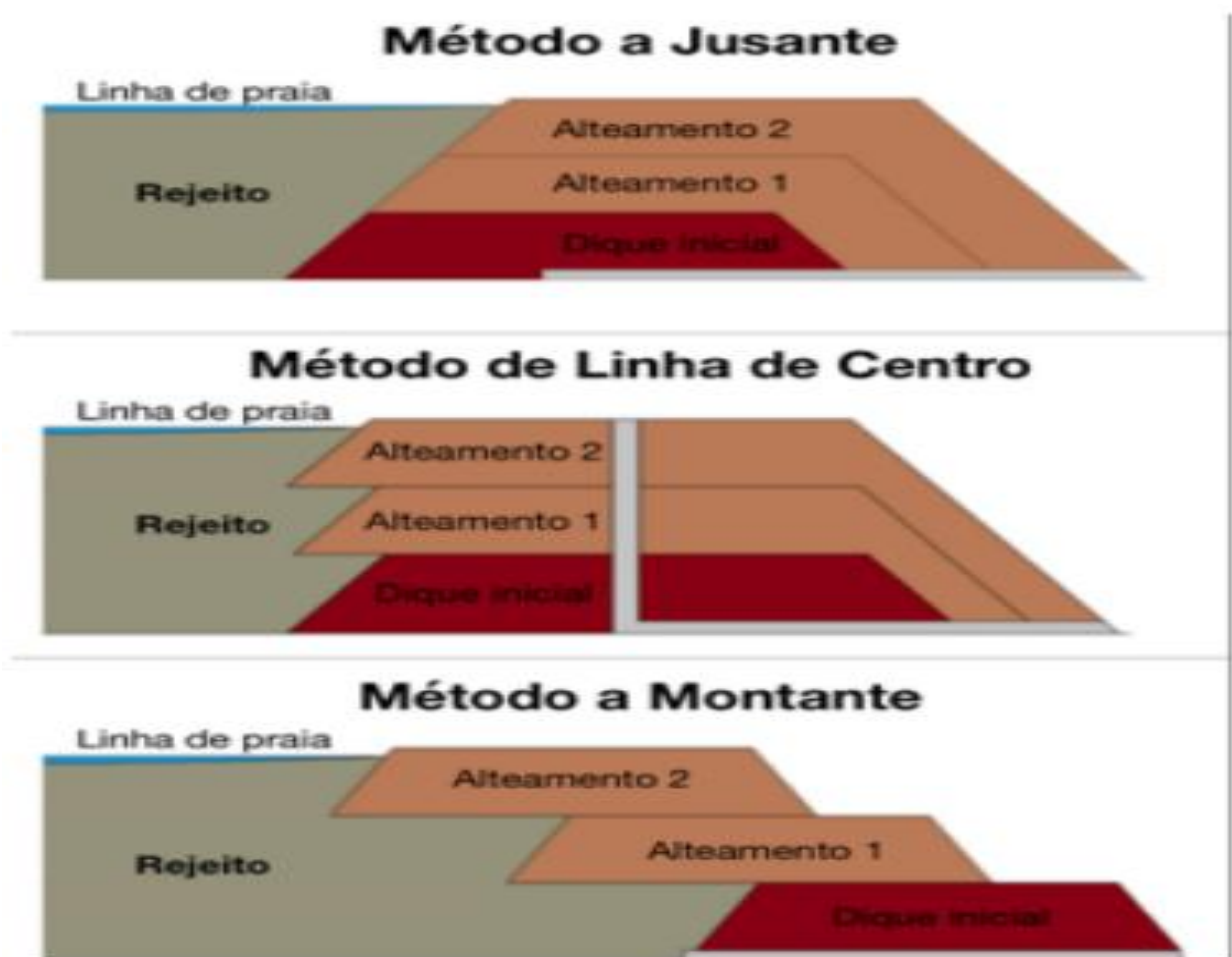
"As barragens de rejeito são estruturas projetadas para armazenar resíduos gerados por actividades industriais, como mineração. A construção e operação dessas barragens devem seguir regulação rigorosa para evitar impactos negativos sobre o meio ambiente e as comunidades locais" (Silva, 2021). Algumas considerações incluem:

- **Avaliação de Impacto Ambiental:** Projetos de barragens de rejeito devem passar por uma AIA, que avalia os potenciais impactos ambientais e sociais, propondo medidas de mitigação.
- **Planos de Gestão:** É essencial a elaboração de planos de gestão de rejeitos que incluam monitoramentos contínuos e estratégias para prevenir acidentes, como rompimentos.
- **Consultas Públicas:** A participação das comunidades afetadas e de outras partes interessadas é fundamental para garantir transparência e aceitação dos projetos.

• **Normas de Segurança e Engenharia:** As barragens devem ser projetadas e construídas de acordo com normas de segurança específicas para garantir a integridade estrutural e minimizar riscos.

Mafra (2016) apresenta em seus estudos que tipicamente para barragens de rejeito, se identificam três métodos construtivos básicos e considera ser usual a combinação entre dois ou entre os três métodos. Os métodos fazem referência a técnica e direção de alteamento empregado, seguindo em direção Montante, Jusante ou acompanhando uma Linha de Centro. A figura 3 apresenta de forma ilustrativa esses três métodos citados por Mafra (2016).

Figura 3– Métodos Construtivos de Barragens de Rejeitos:



Fonte: Mafra (2016)

Em Moçambique, a construção e a operação de barragens, incluindo barragens de rejeito, são regulamentadas por uma série de leis e normativas que visam garantir a segurança, a proteção do meio ambiente e a gestão sustentável dos recursos hídricos.

2.2.1. Legislação para a Construção e a Operação de Barragens de Rejeito em Moçambique

A Lei de Recursos Hídricos (Lei nº 16/91, de 3 de Agosto): Esta lei estabelece as bases para a gestão e conservação dos recursos hídricos em Moçambique, incluindo a regulamentação do uso, aproveitamento e exploração desses recursos.

De acordo com a Lei de Proteção Ambiental (Lei nº 20/97, de 1 de Outubro): Visa a proteção do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável. Qualquer projeto que possa ter um impacto ambiental, como a construção de barragens, deve passar por um processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

Segundo o Regulamento da Avaliação de Impacto Ambiental (Decreto nº 45/2004, de 29 de Setembro): Define os procedimentos e requisitos para a realização de uma AIA, garantindo que projetos como a construção de barragens considerem os impactos ambientais e sociais.

A Regulamentação sobre a Segurança de Barragens: diz que não exista uma legislação específica única para barragens, as diretrizes de segurança costumam estar integradas nas normas de construção civil e em regulamentos específicos que podem ser emitidos pelo Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC) e outras entidades competentes.

A Política Nacional de Água (2007): Estabelece princípios para a gestão da água em Moçambique, incluindo a proteção de ecossistemas aquáticos e o uso sustentável da água.

2.2.2. Principais Incidentes Envolvendo Barragens de Rejeito

A construção de barragens de rejeito deve ser um processo continuado, isto é, estendendo-se por praticamente todo o período da actividade mineira, possibilitando um acompanhamento dos resultados e possíveis modificações e aprimoramentos do projeto inicial. Desse modo, pode-se dispor, de forma segura, todos os rejeitos gerados no processamento, minimizando os riscos de acidentes.

No quadro 1, constam alguns acidentes ocorridos em barragens de contenção de rejeitos, no qual se observam os danos materiais ocasionados e associados à perda de vidas humanas.

Quadro 1- Exemplos de rupturas de barragens de contenção de rejeitos:

Ano	Mina/Local	Causas da Ruptura	Danos Provocados
------------	-------------------	--------------------------	-------------------------

1965	El Cobre - Chile	Terremoto/liquef ação	210 vítimas, soterramento do povoado.
1970	Mufaline Mine/África	Não definida	89 vítimas – 453.000 m ³ de rejeitos saturados.
1972	Buffalo Creek/West – Virginia	Não definida	110 mortos, 1.100 feridos, 1.500 casas destruídas – 595.000 m ³ de lama.
1974	Impala Platinum África do Sul	Entubamento (piping)	12 vítimas, 3 milhões m ³ de lama fluíram por 45 km, destruindo estradas, pontes e soterrando reservatório de água potável.
1985	Prealpi/Trento - Itália	Material de construção	Liberção de 200.000 m ³ de rejeitos. 268 vítimas.
1985	Cerro Negro/Chile	Sismo induzido e liquefação	Lama dos rejeitos fluiu até 85 km a jusante.
1985	Pico S.Luiz/Minas Gerais	Solapamento do pé do aterro e entubamento	Lama fluiu até 10 km a jusante. Pontes e estrada de ferro.
1986	Fernandinho/I taminas – MG	Liquefação	4 vítimas. Destruição de laboratórios e equipamentos.
1996	Mina do Porco/Bolívia	Entubamento (piping)	3 vítimas – Fazendas, gado, flora e fauna; 300 km de rio contaminados.

Fonte: Lindolfo Soares (2010)

Registra-se, ainda, que entre 1970 e 1998 ocorreram 25 grandes acidentes com barragens de contenção de rejeitos. A maioria resultou de condicionantes geológicos e geotécnicos (sismos, fundações, entubamento ou piping, liquefação e materiais de construção, entre outros). Na tabela 1, consta a distribuição da frequência de acidentes, segundo suas causas.

Tabela 2- Principais causas de acidentes em barragens de rejeitos:

Causas	Número de Acidentes	Frequência Relativa (%)
Liquefação	21	46,7
Entubamento	11	24,4

Não definida	13	28,9
Total	45	100,0

Fonte: Arnez, (1999).

Diante das observações discutidas sobre as principais causas de acidentes em barragens de contenção de rejeitos, entende-se que a concepção do projecto de um sistema de disposição de rejeitos de mineração exige o conhecimento de todas as características dos materiais com os quais serão realizadas as obras. Além disso, outras considerações devem ser levadas a efeito: a dinâmica construtiva, o conjunto de operações da mina e também as características do meio físico no qual as obras estarão inseridas. Em resumo, trata-se de um projeto multidisciplinar.

Na elaboração do projecto de barragem, além dos dados disponíveis, devem ser considerados os riscos associados aos custos do projecto e as disponibilidades orçamentárias. O conjunto de operações ligadas ao projecto de implementação de barragem construída com o próprio rejeito compreende basicamente:

- (i) Espessamento;
- (ii) Hidrociclonação;
- (iii) Transporte e descarga da polpa;
- (iv) Deposição dos rejeitos.
- (v) Sistema de recuperação da água;
- (vi) Drenagem superficial e
- (vii) Construção da barragem.

Conforme exemplo apontado pela figura 2, pelo porte de tais estruturas e os riscos associados a estas instalações, faz-se necessário um projecto bem elaborado e executado. Além disso, o monitoramento desde o projecto até a saturação do empreendimento deve ser contínuo, a fim de verificar com antecedência possíveis anomalias que possam vir a fragilizar a estrutura da barragem de rejeitos.

2.2.3. Monitoramento das Barragens de Rejeitos na Mineração

O monitoramento das barragens de mineração é de responsabilidade do empreendedor e os registos devem ser armazenados e reportados aos órgãos competentes. Note-se que, a entidade competente para as barragens são as Administrações Regionais de Águas (ARA's), no caso da TSF01 em Moatize, é a Administração Regional de Águas do Centro (ARA-Centro) que responde ao Ministério das Obras Públicas Habitação e Recursos Hídricos (MOPRH) através da Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (DNGRH). Note-se que, no quadro institucional, a Vale Moçambique, proprietária da Barragem TSF01, responde ao Ministério dos Recursos Minerais e Energia (MIREME).

Segundo (Junior et al., 2018), é necessário que as barragens tenham monitoramento e controle com certa periodicidade a fim de prever comportamentos de deformação das barragens. Para Castro (2008), além do monitoramento detalhado, o próprio programa de monitoramento deve passar por constante avaliação, analisando sua performance e verificando se as condições apresentadas estão sendo satisfatórias.

Considera-se que o monitoramento efetivo das barragens de mineração depende das inspeções em campo, realizadas por uma equipa técnica e por informações de variáveis que suportam a tomada de decisões acerca da integridade das estruturas. Diversos autores como (Machado, 2007), (Castro, 2008) e (Soares, 2010) apontam em seus trabalhos que os principais dados a serem amostrados para o monitoramento das barragens estão ligados às diferentes formas de entrada e saída da água do reservatório que apontarão as variações hidrostáticas das estruturas e conseqüentemente a sua estabilidade. Estas informações fundamentais são obtidas com o uso de um sistema de instrumentação implementado nas barragens de mineração e que auxiliarão nas tomadas de decisão, apresentando o real estado das estruturas.

2.2.4. Instrumentação de Barragens de Mineração

A instrumentação de barragens é importante para assegurar o constante monitoramento de suas estruturas, obtendo maior segurança e confiabilidade com relação a estabilidade deste empreendimento e, além disso, para cumprir os requisitos legais (Vieira, 2017).

Para (Silveira, 2006), todo instrumento deve ser selecionado e instalado com alguma finalidade clara e específica. Ele ainda cita que planejar o monitoramento com uso de sistemas de instrumentação é similar a outros projetos de Engenharia, ao passo que deve ser realizado partindo da definição de um objectivo e posteriormente, para o planeamento de como os parâmetros necessários para a medição serão implementados.

Para (Soares, 2010), a instrumentação das barragens tem a finalidade de assegurar a segurança ambiental e das estruturas do empreendimento. No que tange o comportamento estrutural das barragens, a aplicação da instrumentação deve ter como diretriz as fases principais da obra que são a implementada, operação e desativação.

Há um alinhamento dos autores com relação às premissas e objetivos da instrumentação nas diferentes fases citadas da utilização das barragens de mineração, como descrito abaixo por (Soares, 2010).

a. Fase de implantação das barragens:

- Indicar eventos de anomalias no comportamento das barragens ou de situações que possam favorecer o surgimento de aspetos incompatíveis com o esperado em projecto;
- Sugerir revisões no projecto, uma vez que as soluções até tal fase se mostrem conservadoras demais, ou o oposto, indicando a redução ou necessidade de aditivo a obra.

b. Fase de operação das barragens:

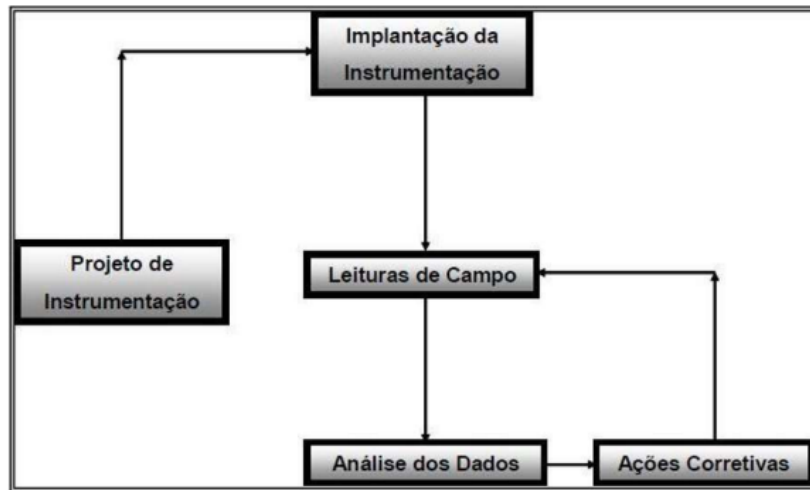
- Indicar eventos de anomalias que possam comprometer a estabilidade das estruturas;
- Avaliar o desempenho das estruturas comparando as medidas apontadas pelos instrumentos com aquelas esperadas por modelos matemáticos teóricos;
- Auditar a conformidade dos critérios utilizados do projecto;
- Avaliar o desempenho geral da barragem, conforme previsto em projecto;
- Caracterizar o comportamento dos materiais das estruturas com o desenvolvimento da obra, com o objetivo de levantar os parâmetros de tempo para estabilização dos deslocamentos, das tensões internas, estabilização das vazões, dentre outros.

c. Fase de desativação/descharacterização:

- Avaliar a estabilidade estrutural resultante do lançamento de rejeitos;
- Avaliar o desempenho estrutural, através das medições de tensão interna, variações de vazão, dentre outros.

Como visto, a utilização de instrumentos para o monitoramento das barragens de mineração requer projeto bem elaborado, além de um programa de instrumentação que deve ser um mecanismo vivo para acompanhamento e avaliação dos dados. A figura 4, apresenta o esquema sumarizado de projeto de instrumentação.

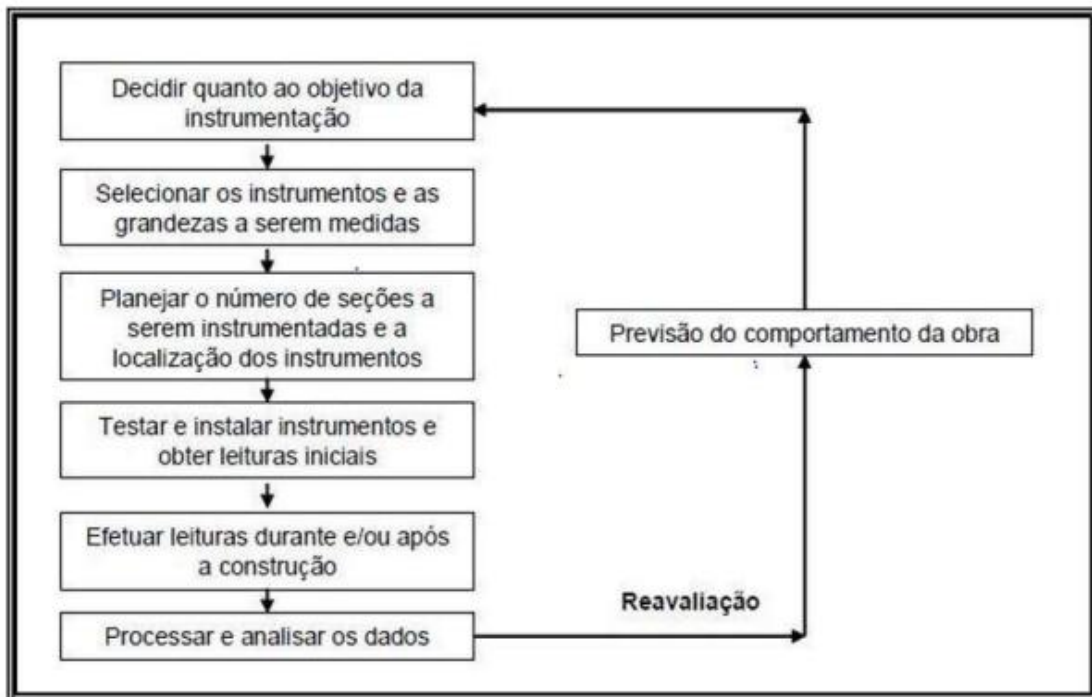
Figura 4- Esquema de projecto de instrumentação:



Fonte: Soares, (2010).

O programa de instrumentação visa sobretudo, a adequação do monitoramento da obra aos parâmetros necessários para acompanhamento da saúde da barragem e deve ser um mecanismo ativo e sempre reavaliado.

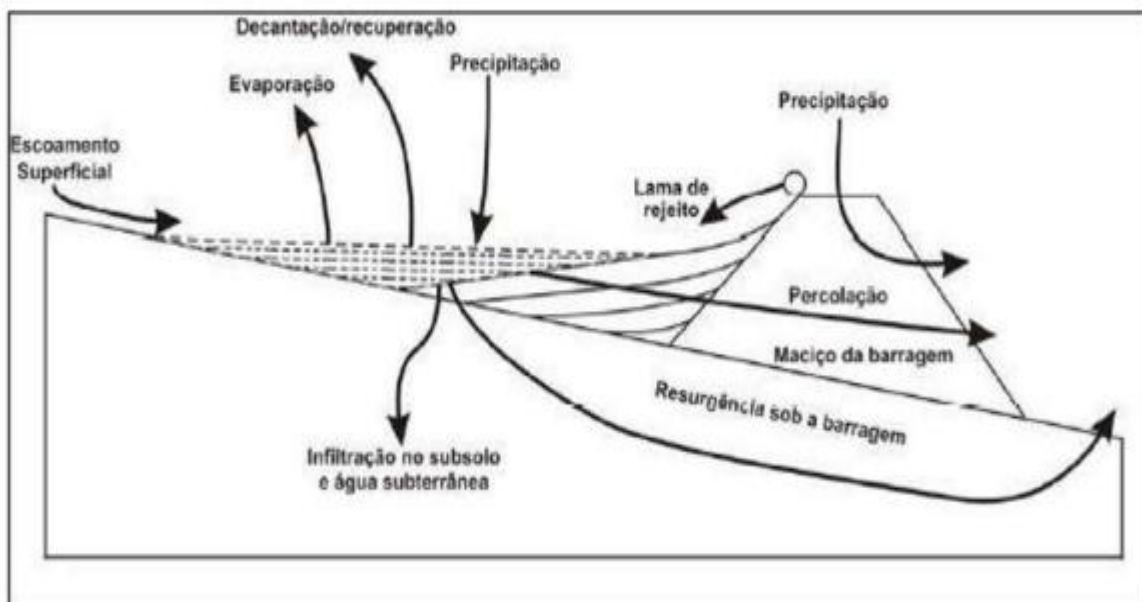
Figura 5- Diagrama de um programa de instrumentação:



Fonte: Machado, (2007)

Os principais dados monitorados pelos instrumentos são os de piezometria, vazão de jusante, pluviometria, nível de água do reservatório e os marcos topográficos superficiais. Como já descrito, tais informações apresentam principalmente, o comportamento da variação de água no reservatório e nas estruturas, além da capacidade da barragem em absorver, drenar e vertê-la para a jusante. A figura 6, apresenta genericamente os principais meios de entrada e saída de água dos reservatórios das barragens de mineração.

Figura 6- Formas de entrada e saída de água das barragens:



Fonte: Castro, (2008)

2.2.5. Contextualização das Barragens de Rejeito da Mina de Carvão de Moatize-Tete e suas operações.

Em Moçambique, a legislação sobre barragens, incluindo as de rejeitos, é regida por várias leis e regulamentos que visam garantir a segurança, a gestão ambiental e a sustentabilidade dos projetos. As barragens de rejeitos, que são estruturas usadas principalmente na mineração para armazenar resíduos, estão sujeitas a regulamentações rigorosas devido ao seu potencial impacto ambiental e aos riscos associados. Essas diretrizes são regidas por várias leis, regulamentos e normas técnicas que cobrem todos os aspectos do ciclo de vida de uma barragem, desde o planeamento até o descomissionamento. No quadro 2 e 3, apresentamos as características da barragem TSF01 e dados gerais.

Quadro 2- Características da Barragem TSF01:

Nome da estrutura:	Barragem de Rejeito
Classificação:	Classe III (RSBM, em revisão)
Estado actual	Inativa (deposição de rejeito sendo feita na Cava Sousa Pinto)
Finalidade:	Disposição de rejeitos
Metédo construtivo	Aterro compactado convencional com alteamento a jusante
Projetista:	Golder Associates Africa
Data de Construção:	Fase 01: 2011 Fase 02: 2013
Cota Actual da Crista (m):	244 m
Cota da base (m):	215 m
Comprimento da Crista (m):	Aterro Norte: 2.400 e Aterro Sul 415m
Altura Atual (m)	Aterro Norte: 29,0m e Aterro Sul 11,0m
Número de Alteamentos	1/1
Previsto/Realizados:	
Volume total de projecto:	23,59 Milhões de m ³
Volume actual acumulado:	22,8 Milhões de m ³

Fonte: Vulcan (2023)

Quadro 3- Dados Gerais da Barragem TSF01:

DADOS GERAIS	
Localização	33°46'21.76"E e 16°10'17.89"S
Finalidade	Disposição de Rejeito
Cota da Crista (m)	244,00
Na soleira do vertedouro (m)	241,50
Altura da Barragem (m)	29,00
Volume do Reservatório (Mm ³)	23,57
Tipo de Seção	
Drenagem Interna	Fase 1 - Barragem Norte EL. 237,0m

	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema drenante coletor na fundação do espaldar de jusante entre as estacas CH 350 a CH 1400, composto por um dreno francês (trincheira de 0,55m x 0,45m e tubo de PVC de 150mm);
	<ul style="list-style-type: none"> • Tapete de blocos no pé da estrutura, ao longo do mesmo trecho de implantação do dreno francês, com 0,50m de espessura e aproximadamente 10,0m de comprimento;
	<ul style="list-style-type: none"> • Toda a drenagem coletada pelo sistema de drenos franceses é direcionada para dois pontos de descartes (CH 800 e CH 1150).
	Fase 2 – Barragem Norte EL. 244,0m
	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de drenos franceses entre as estacas CH 150 a CH 350 e CH 1350 a CH 1700;
	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de um filtro vertical de areia com 1,0m de espessura, apoiado num berço de material argiloso na elevação aproximada 233,0m. O fluxo coletado é direcionado através de um tubo ranhurado com 13 pontos de descarte, espaçados aproximadamente a cada 150,0m.
	<ul style="list-style-type: none"> • No projeto previu-se a instalação de uma geomembrana impermeabilizante na face de montante do maciço da barragem.
Instrumentação	Piezômetros, Indicadores de Níveis de Água e Marcos Topográfico
Estrutura do Vertedouro	Soleira livre posicionado na ombreira direita do barramento Sul, composto por canal em concreto e gabião, com seção retangular (41m x 3.00m) sobre terreno natural
Cheia de Projeto	10.0 os

Fonte: Vulcan Moatize: Departamento de Hidrogeologia e Geotecnia (2023)

2.2.3.1. Operações de Barragens de Rejeito na Mina de Moatize

Segundo as Pereira, (2023), diz que "as barragens de rejeito na Mina de Moatize são essenciais para a segurança ambiental e possuem características específicas e operações rigorosas”:

Estrutura das Barragens: As barragens são construídas para suportar grandes volumes de rejeitos, e sua construção deve obedecer a normas rigorosas de engenharia para garantir a segurança a longo prazo.

Gestão de Rejeitos: A operação inclui a gestão adequada dos rejeitos, que pode envolver a utilização de tecnologias modernas para o tratamento e reprocessamento do material, reduzindo assim a quantidade de resíduos gerados.

Monitoramento Ambiental: As empresas responsáveis pela mina são obrigadas a implementar sistemas de monitoramento ambiental para avaliar o impacto das operações da barragem sobre o solo, a água e a biodiversidade ao redor.

Risco de Deslizamentos: Uma das principais preocupações em relação às barragens de rejeito é o risco de deslizamentos ou rupturas, que podem causar danos ambientais severos e impactar as comunidades próximas. Isso exige um planejamento cuidadoso e a implementação de medidas de mitigação.

Impacto Social: As operações da mina e das barragens de rejeito têm implicações diretas para as comunidades locais, que podem ser afetadas pela poluição, deslocamentos e mudanças no uso da terra. O envolvimento comunitário e a transparência nas operações são essenciais para minimizar esses impactos.

Regulamentação e Compliance: Com as crescentes preocupações sobre a segurança das barragens de rejeito, reguladores governamentais têm implementado normas mais rigorosas para a indústria mineral em Moçambique. As empresas precisam garantir a conformidade com essas regulamentações e realizar auditorias regulares.

As barragens de rejeito da Mina de Carvão de Moatize desempenham um papel crucial na operação da mina, mas também apresentam sérios desafios ambientais e sociais que precisam ser geridos de forma responsável e sustentável. A continuidade das operações depende de práticas de mineração responsáveis, minimizando os impactos negativos e garantindo a segurança das comunidades e do meio ambiente.

Nesse estudo em específico nos concentraremos na importância do uso de um sistema de desaguamento na barragem para deposição de rejeitos tornou-se algo insustentável, suas estruturas e os métodos usados.

2.3. Sistemas de Desaguamento em Barragens de Rejeito

De acordo com Steven G. Vick, em sua obra "*Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams*" (1990), define os sistemas de desaguamento em barragens de rejeito como: "O conjunto de métodos e técnicas projetados para remover ou reduzir a quantidade de água nos rejeitos armazenados em barragens, com o objectivo de aumentar a estabilidade da barragem, minimizar a pressão de poros dentro dos rejeitos e prevenir a ocorrência de fenômenos como a liquefação, que podem comprometer a integridade estrutural da barragem." O sistema de desaguamento é responsável pela remoção de grande parte da umidade durante a fabricação do papel. Com um sistema de drenagem eficiente, obtém-se economia de energia na fabricação do papel, reduzindo consideravelmente o teor de umidade da folha.

Segundo Vick, o desaguamento é um componente crítico do design e operação das barragens de rejeito, pois influencia diretamente a segurança e estabilidade da estrutura. O processo envolve o uso de técnicas como drenagem por gravidade, filtragem e bombeamento, que visam controlar o conteúdo de água dentro dos rejeitos, evitando que o excesso de água cause problemas como aumento de pressão interna, instabilidade e, em casos extremos, falhas estruturais.

O controlo eficaz da água nos rejeitos é essencial para garantir que a barragem mantenha sua integridade ao longo do tempo, especialmente em condições adversas, como chuvas intensas ou sismos.

O sistema convencional apresenta um bom grau de eficiência na remoção de cor, turbidez e possíveis contaminantes, e é utilizado pela maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) do Brasil (Jacomassi, 2009). As impurezas removidas, juntamente com resíduos dos produtos químicos aplicados, são denominadas "lodo de ETA" (Marinho, 2012).

2.3.1. A Importância de Desaguamento Mecânico

O processo de tratamento do lodo inclui várias etapas, com objectivos diferentes (Tchobanoglous, G., et al, 2003):

1. Adensamento, com objectivo de reduzir o volume do lodo, elevando a concentração do mesmo de aproximadamente 1 % para > 3 %, através da remoção de água livre.
2. Estabilização, com objectivo de reduzir a população de microrganismos patogênicos presentes; e diminuir a possibilidade de geração de odores e da atração de vetores durante as etapas consecutivas de tratamento e da disposição final, através a redução de potencial de putrefação. Algumas tecnologias como a digestão biológico do lodo, reduzem ainda a quantidade de lodo.
3. Condicionamento do lodo, com objectivo de facilitar a separação das partículas sólidas da fase líquida.
4. Desaguamento – ou desidratação – mecânica, com objectivo de reduzir o volume e transformar o lodo ainda líquido em material livre de líquido livre, transportável como material sólido em granel.
5. Higienização de lodo, com objectivo de diminuir patogenicidade até um nível que o lodo não cause riscos à população nem ao meio ambiente, ao ser disposto no solo. Como o objectivo e o resultado desta etapa é muito parecido com a estabilização, podemos denominar como “estabilização em fase sólida”.
6. Secagem térmica, com objectivo de reduzir o volume dos rejeitos no máximo possível. Os processos térmicos resultam também a higienização de lodo.

A maioria das fontes de literatura técnica considera o processo de tratamento de lodo como uma linha consecutiva das tecnologias referentes das etapas acima listadas. Na prática, porém, não podemos definir claramente esta linha, porque algumas tecnologias aplicadas enquadram mais que uma etapa do processo geral. A digestão anaeróbica e a estabilização alcalina, por exemplo além da redução da actividade microbiológica nas etapas consecutivas, facilitam a remoção da água durante o desaguamento, assim contribuem no condicionamento do lodo. Algumas etapas podem ser “opcionais”, dependendo a destinação final do lodo e as possibilidades – técnicas e econômicas - da ETE.

2.3.2. Tecnologias e Equipamentos do Desaguamento Mecânico

Os processos de desaguamento podem ser naturais ou mecanizados. O princípio do desaguamento natural é a evaporação e a percolação, e abrangem tecnologias como leitos de secagem, lagoas de secagem de lodo e de aplicação de tubos de mantar permeáveis. Como o tempo de retenção, e conseqüentemente o espaço necessário é elevado em caso destas tecnologias, este último frequentemente é o fator limitante para a aplicação do desaguamento

natural. Para estações muito pequenas, porém, podem ser as únicas soluções economicamente viáveis.

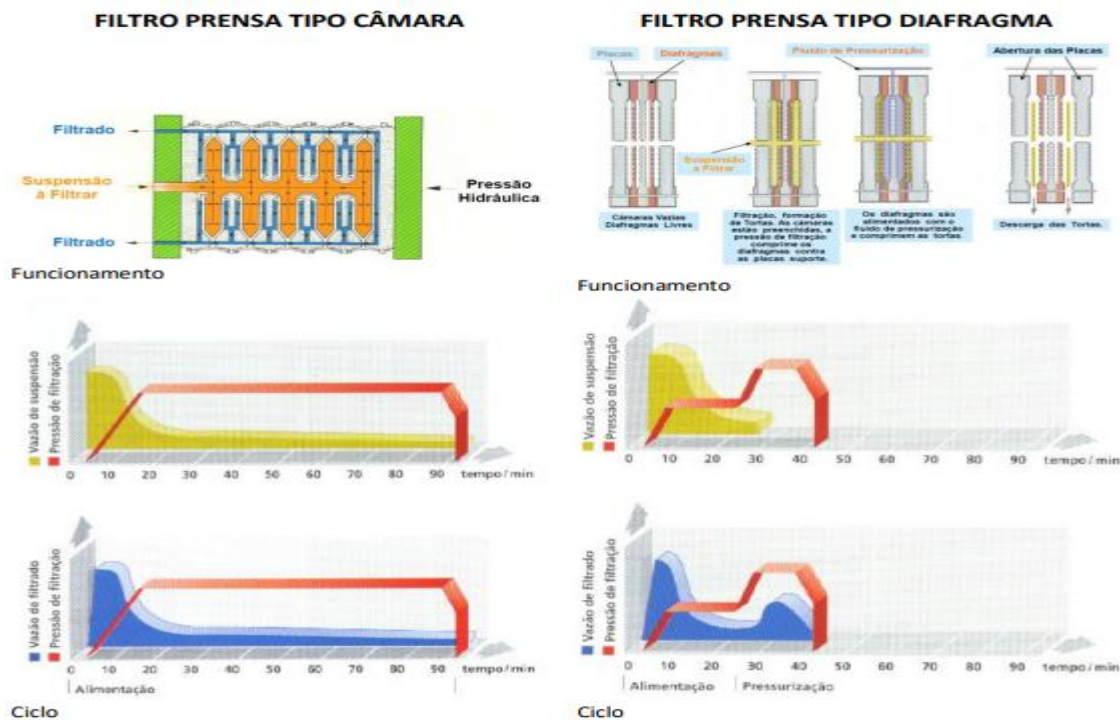
Nos processos de desaguamento mecânico a separação de sólidos e líquidos pode ser feito na base de diferença de tamanho das partículas, ou na base de diferença do peso específico da fase sólida e líquida. Os equipamentos, que seguem o primeiro princípio, são os diversos equipamentos de filtração, como filtro-prensa, filtros a vácuo, prensa desaguadora (“belt-press”) e outros equipamentos contínuos de filtração como prensas parafuso, (C-Press) ou prensas rotativas (“Rotary Fan Press”). As centrífugas, no outro lado, funcionam a base de diferença de peso específico.

2.3.2.1. Filtro Prensa

O filtro prensa é a tecnologia mais antiga da separação de sólidos e líquidos. A primeira unidade para desaguamento de lodo municipal em larga escala surgiu nos Estados Unidos no começo da década de 1920 (Miki et al., 2006).

O filtro prensa composto de várias placas de filtro, posicionados verticalmente em uma estrutura de suporte, como mostra a figura abaixo.

Figura 7- A diferença ente o funcionamento e o ciclo de operação do filtro prensa de câmara simples e de membrana:



Fonte: Miki et al., (2006).

O filtro prensa composto de várias placas de filtro, posicionados verticalmente em uma estrutura de suporte. Estas placas possuem um perfil que permite às mesmas, quando montadas uma contra a outra, formarem no interior do filtro prensa uma série de câmaras que são completamente preenchidas pelos sólidos.

Além dos filtros de câmara simples, no desaguamento de lodo são amplamente aplicados os filtros prensas tipo membrana. As placas destes filtros possuem uma membrana, e permitem que um meio (líquido ou gás) pressurizada seja introduzida entre o corpo da placa e a membrana. Nesta maneira, o volume das câmaras diminui, forçando o líquido remanescente sair da torta. O ciclo de operação, portanto, além de enchimento, e pressurização inclui mais uma etapa de pressurização de membrana, antes a abertura do filtro e o descarregamento da torta. Como opção, estes equipamentos permitem a “secagem” da torta, dentro do equipamento fechado, passando ar comprimido na torta na final do ciclo de filtragem.

2.3.2.2. Prensa Desaguadora

A aplicação das prensas desaguadoras (“belt filter press” as vezes traduzido como filtro-prensa de correia) no processo de desaguamento de lodo começou na Europa na década de 1960, e nos EUA nos anos 70. A origem do equipamento é a desaguamento de fibras de papel, e foi modificado para atender as características de outros tipos de lodo. Sendo um equipamento de operação contínua, tornou-se um dos equipamentos predominantes de desidratação mecânica.

Nas prensas desaguadoras o lodo – já condicionado – é introduzido entre duas correias, que uma atuam como o meio filtrante. Estas se deslocam entre roletes que promovem a compressão de uma esteira ou correia sobre a outra, provocando a remoção do líquido. Nas prensas desaguadoras modernas e eficientes a remoção de líquido é feito em três etapas consecutivas:

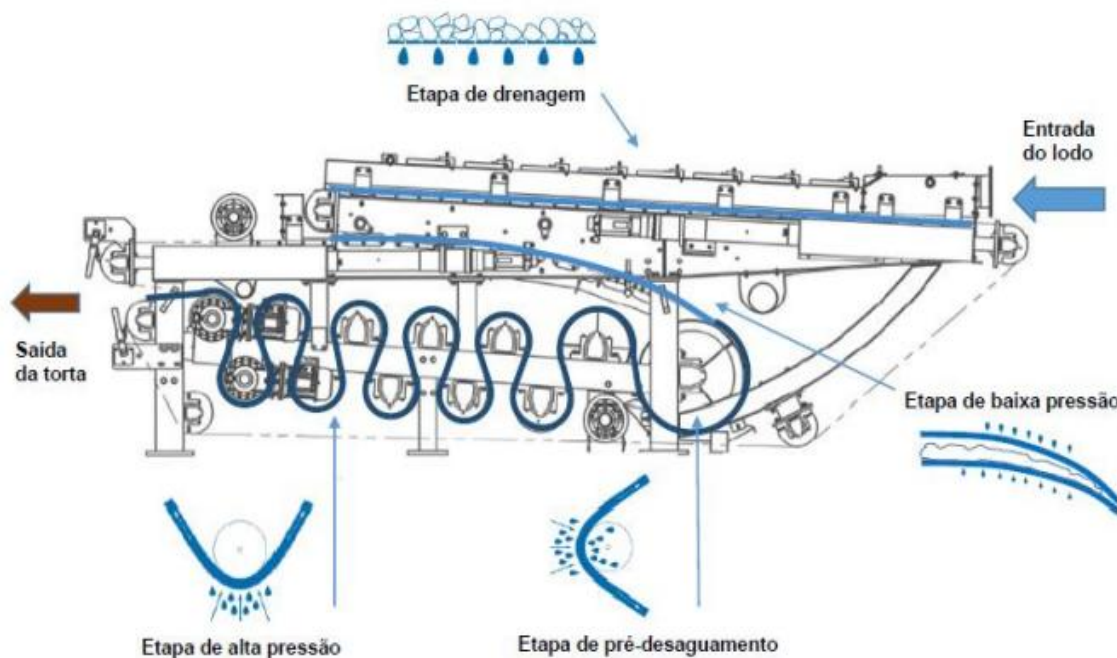
a. Na primeira etapa, o lodo é distribuído numa das correias filtrantes, e a maior parte de água livre é drenada nesta etapa por gravidade. Em alguns modelos, esta etapa é assistida por aplicação de vácuo, isso aumenta a eficiência de desaguamento inicial e pode reduzir a emissão de odores. Normalmente, a concentração do lodo chega ao 5 a 10 % no final desta etapa.

b. Na segunda etapa, uma outra esteira filtrante é introduzida em cima da camada de lodo parcialmente desaguado, e as duas esteiras – juntos com o lodo entre elas – passam entre rolos, aplicando se uma pressão quase constante. Esta etapa chame se como de baixa pressão. O maior objetivo nesta fase é “preparar” a torta para chegar uma consistência mais “firme” e não “escapar” nas laterais das telas na próxima etapa.

c. Na **terceira etapa**, que conhecida como zona de alta pressão, forças são exercidas no lodo pelo movimento das correias superior e inferior, ao passar num série de rolos com diâmetros decrescentes. Alguns os fabricantes têm na zona de alta pressão utilizam dispositivos hidráulicos para aumentar a pressão sobre o lodo, e completar o desaguamento. A torta é recolhida através de lamina de raspagem. A telas estão lavados continuamente antes de receber a nova camada de lodo.

Nas prensas desaguadoras de última geração, como a Andritz SMX-Quantum “Heavy Duty Belt Press” há ainda mais uma etapa, chamada pré-desaguamento entre as secções de baixa e alta pressão, composto por passagem sobre tambores perfurados. Esta inovação resulta melhor distribuição do aumento de pressão, garantindo assim maior capacidade hidráulica e concentração mais alta na torta. O esquema de funcionamento deste equipamento está visualizada na figura 9.

Figura 8- Esquema de funcionamento da prensa desaguadora da Andritz SMX-Q:



Fonte: Westerling, K, (2016)

As vantagens e desvantagens do equipamento são resumidos abaixo (Westerling, K., 2016):

Vantagens:

- Operação contínua;
- Baixo investimento de capital;

- Baixo custo operacional, devido do baixo consumo de energia;
- A prensa desaguadora é adequado para trabalhar com lodo com baixa concentração mesmo quando o conteúdo de sólidos for menor que 1%;
- Equipamento com velocidade muito baixa (tipicamente de 3 a 10 rpm). Consequentemente, não gera vibração, não precisa isolamento de vibração.
- É fácil de controlar - os operadores podem ver o efeito do polímero e o processo observando a aparência do lodo floculado em cima da tela. O baixo cisalhamento diminui a quebra dos flocos já formados.
- O dano acidental por material abrasivo e por partículas maiores é limitado, prensa desaguadora pode geralmente segurar uma grande variedade de material estranho que passa por ele. Isso pode ser uma grande vantagem em estações de gradeamento e remoção de areia menos eficiente.
- O projecto da máquina facilita a manutenção, de modo que uma pequena oficina local pode fazer toda a manutenção que é necessária.

Desvantagens:

- A concentração de sólidos na torta é mais baixa comparando com outras tecnologias;
- Alto consumo de água pela lavagem contínua das telas;
- Produz aerossóis e odores, quando o equipamento não é completamente fechado;
- Lodo contendo óleos e graxas podem impregnar as telas de filtragem, mesmo com a lavagem contínua;
- Precisa maior atenção dos operadores e mais trabalho de manter limpo o posto de trabalho.

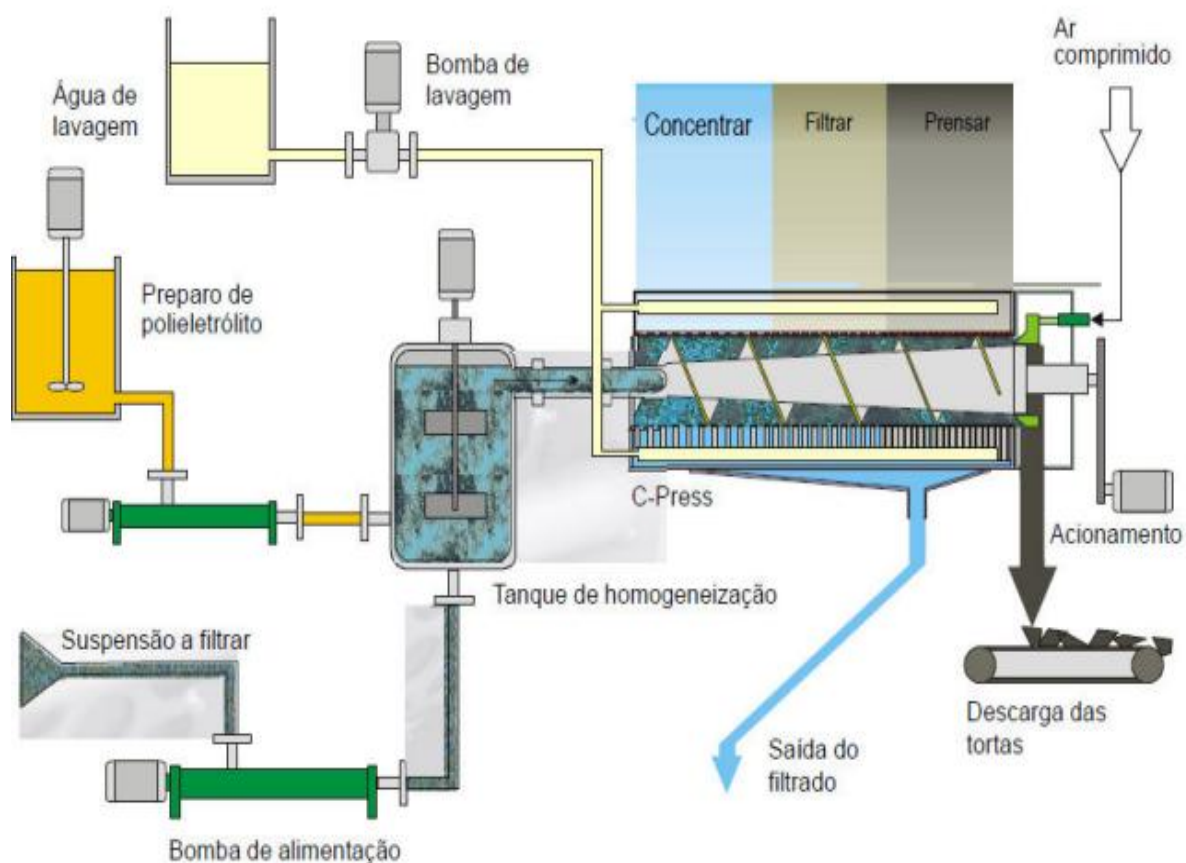
Alguns fornecedores de prensas desaguadoras mencionam, que o consumo de polieletrólito nas prensas desaguadoras é menor comparando com outros equipamentos de desaguamento.

2.3.2.3. Prensa Parafuso (C-PRESS)

A prensa parafuso é composto de uma rosca sem fim, construído numa maneira que a volume entre os passos da rosca do começo de fim é cada vez menor; e um cesto, composto por cilindros segmentados parafusados, reforçados e bipartidos em toda extensão em torno da rosca, suportando a chapa perfurada e a tela filtrante. O lodo é enviado para um tanque de reação onde recebe a adição de polieletrólito. O lodo floculado é transportado através de baixíssima rotação (normalmente é de 0,2 a 2,0 rpm) ao helicóide (rosca). O filtrado escoar por gravidade através

dos orifícios da camisa perfurada sendo coletado na parte inferior do equipamento. Ao final da etapa de compactação o lodo já desidratado é expelido continuamente pela rosca, contra uma placa de pressão, totalmente ajustável por dispositivos pneumáticos. A boa permeabilidade dos cestos está garantido por um sistema de lavagem. A lavagem dos cestos é intermitente, por isso o consumo de água de lavagem é menor que em caso das prensas desaguadoras. A rotação da rosca, a pressão da placa da descarga, a rotação do agitador do tanque de floculação e frequência de lavagem são parâmetros ajustáveis, tornando possível a otimização do processo e facilitando a operação automática. o esquema funcional está visualizado na figura 10.

Figura 9- Fluxograma básico da prensa parafuso (C-Press da Andritz):



Fonte: Westerling, (K., 2016)

A ideia de funcionamento de prensa parafuso não é novidade: o princípio é o mesmo que das prensas manuais usados para extrair suco de uva por exemplo. A aplicação do equipamento na área de desaguamento mecânico de lodo ganhou espaço no início dos anos 2000, como busca de um equipamento contínuo, que engloba das vantagens das prensas desaguadoras (baixo

consumo de energia, baixo custo de manutenção) e das centrífugas decantes (equipamento fechado, fácil automação).

As vantagens e desvantagens das prensas parafuso são resumidos abaixo (Westerling, K., 2016).

Vantagens:

- Operação contínua;
- Baixo consumo de energia;
- Precisa baixa atenção dos operadores, fácil automação;
- Equipamento com rotação muito baixa (tipicamente de 0,2 a 2 rpm). Consequentemente, não gera vibração, e a custo de manutenção é muito baixo;
- Baixo nível de ruído;
- Equipamento completamente fechado, não gera aerossóis e facilita o controle dos odores.

Desvantagens:

- O fator limitante é a capacidade hidráulica (drenagem através as telas), consequentemente perde capacidade trabalhando dos lodos diluídos. Nas ETEs de alta produção de lodo precisam várias unidades em paralelo.
- Necessita floculação muito boa do lodo, por isso consome mais polieletrólito que a prensa desaguadora.
- Menor eficiência de captura de sólidos por causa da lavagem periódica dos cestos. Temos que mencionar, que a construção da Andritz C-Press permite que o filtrado durante a lavagem seja direcionado para o tanque do lodo, melhorando assim a captura.

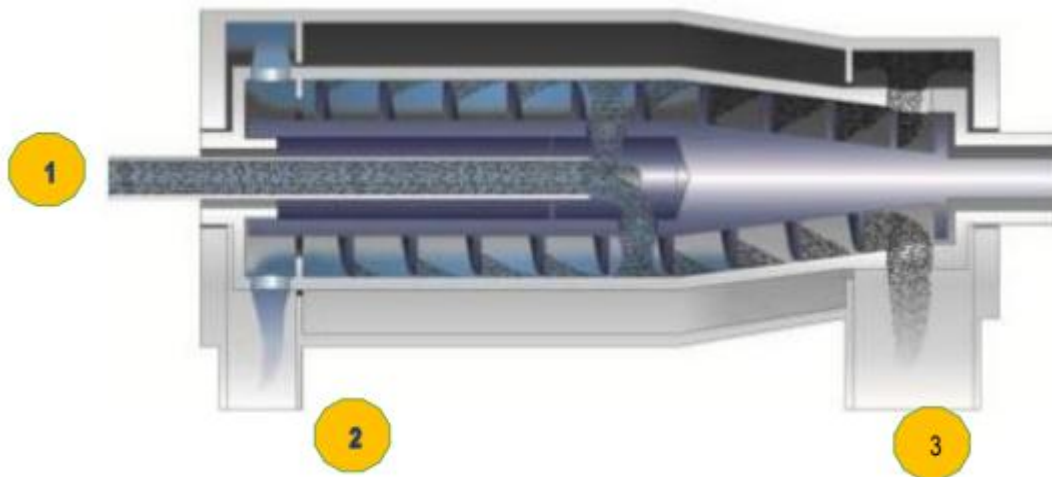
As prensas de pistão hidráulicas; e as prensas rotativas “Rotary Fan Press”, que seguem um princípio muito similar à prensa parafuso, não estão sendo aplicadas no Brasil em escala significativa. Foi publicada nos EUA uma comparação entre a prensa parafuso e a prensa rotativa através testes como equipamentos piloto (Novak, K, 2012). Neste caso publicado, a prensa rotativa tinha custos de aquisição e instalação mais baixos, apresentou menor consumo de polieletrólito, a secagem da torta, porém ficou muito aquém da prensa parafuso: a concentração dos sólidos foi de 13 % em média na prensa rotativa e 19 % em média na prensa parafuso.

2.3.2.4. Centrifuga Decanter

Houve tentativas de usar equipamentos de centrifugação para a desaguamento de lodo já no começo do século XX, mas somente a surgimento e ampla aplicação dos polieletrólitos orgânicos abriu o caminho para os decaners centrífugos, tornando a qualidade de filtrado “aceitável” nos anos 1960. As primeiras máquinas de centrifugação eram de operação intermitente, as modernas centrífugas decaners oferecem operação contínua e completamente automatizada.

Uma centrífuga decanter é essencialmente um tubo que gira a uma velocidade extremamente alta. Como resultado da força centrífuga, os sólidos – mais pesado – são depositados na parede interna do tambor. Para tornar o equipamento contínuo, dentro do tambor é instalada uma rosca que gira com velocidade diferente, e esta velocidade diferencial faz que, em relação da parede do tambor esta rosca se movimente em direção de uma extremidade, coletando e depois descarregado os sólidos separados. O líquido que ocupa a espaço mais perto do eixo da rotação, é enviado ao lado posto, em direção a uma tubulação coletora. A corte de uma centrífuga decanter típica está visualizado na figura 11.

Figura 10- Corte típico do decanter centrifuga. 1- Alimentação do lodo; 2- Descarga de líquido clarificado; 3 – Descarga de sólidos (torta):



Fonte: Andritz, (2016)

A Andritz fornece centrífugas decaners para diversas aplicação nas indústrias química, alimentícia e farmacêutica, e também equipamentos otimizados para a desidratação do lodo biológico, ou de lodo físico-químico nas Estações de Tratamento de Efluentes. (Figura 12).

Figura 11- Decanter centrífuga Andritz instalada numa estação de tratamento de esgoto:



Fonte: Andritz, (2016)

Entre as vantagens do decanter centrífugo estão o funcionamento contínuo; alta eficiência, possibilidade de reuso de água clarificada e a fácil automação. Como é um sistema compacta é a melhor opção para ETEs com produção de grande volume de lodo. Equipamento completamente fechado, facilitando o controlo de odores.

No outro lado a centrífuga decanter é um equipamento com alto consumo de energia de alta demanda de manutenção cara, e de alto nível de ruído.

A comparação entre as tecnologias principais de desaguamento mecânico está resumido na quadro 3. (Andritz 2016)

Quadro 4- Comparação entre as principais tecnologias de desaguamento mecânico:

Centrifuga Decanter	Prensa Desaguadora	Filtro Prensa	Prensa Parafuso “C- Press”
------------------------	-----------------------	------------------	----------------------------------

Investimento necessário (+ = menos; ++++ = mais)	++	+	+++	+++
Instalação (+ = simples; ++++ = complexo)	+	++	+++	++
Equipamentos auxiliares necessários (+ = menos; ++++ = mais)	+	++	+++	+
Secagem (+ = menos % de sólidos; ++++ = mais % de sólidos)	+++	+	+++	+++
Sistema contínuo	Sim	Sim	Não	Sim
Automação	Fácil	Médio	Difícil	Médio
Consumo de polímero	Médio/Alto	Médio	Médio	Médio /Alto
Custo de manutenção	Alto	Médio	Médio	Baixo
Facilidade de treinamento à equipe de operação e manutenção	Treinamento específico	Fácil	Fácil	Treinamento específico
Espaço necessário para instalação (+ = pequeno; ++++ = grande)	+	++	+++	+++
Consumo de energia (KW/ tonelada de sólidos secos)	Alto (30-60 km/TDS)	Baixo (10-25kw/TDS)	Médio (20-40 kw/TDS)	Muito baixo (< 10 KW/TDS)

Fonte: Andritz, (2016)

2.4. Impacto Ambiental e Segurança Operacional do Sistema de Desaguamento na Barragem de Rejeito da Mina de Carvão de Moatize

O impacto ambiental e a segurança operacional do sistema de desaguamento nas barragens de rejeito são temas críticos, especialmente em grandes operações de mineração, como a Mina de Carvão de Moatize-Tete, em Moçambique.

O sistema de desaguamento é fundamental para garantir a estabilidade da barragem e minimizar o risco de deslizamentos, ao mesmo tempo em que reduz o impacto sobre os corpos hídricos adjacentes" (Costa, 2024). Essas barragens são projetadas para armazenar resíduos de mineração

(rejeitos) e água utilizada no processo de extração e tratamento do carvão. O sistema de desaguamento, que visa reduzir o conteúdo de água nos rejeitos antes de seu armazenamento, desempenha um papel essencial tanto na mitigação dos riscos ambientais quanto na garantia da estabilidade da barragem. O impacto desse sistema pode ser analisado sob diferentes aspectos:

2.4.1. Impacto Ambiental

Segundo autores como Silva et al. (2021), a gestão inadequada dos rejeitos pode levar à degradação dos ecossistemas locais, afetando a biodiversidade e a qualidade da água. Além disso, Melo e Santos (2022) destacam que a sedimentação e a poluição resultantes do desaguamento podem impactar negativamente as comunidades que vive ao redor desses recursos hídricos, como:

1. Contaminação de Águas Subterrâneas e Superficiais: Segundo autores como Silva e Gomes (2019), o sistema de desaguamento inadequado pode resultar na percolação de águas contaminadas para o solo e, conseqüentemente, para os lençóis freáticos. Isso pode levar à contaminação de fontes de água potável e à degradação de ecossistemas aquáticos locais.

2. Emissão de Poluentes Atmosféricos: A mineração de carvão, associada ao desaguamento dos rejeitos, pode liberar poeira e gases tóxicos. Como destacado por Oliveira (2020), partículas finas geradas durante o processo de desaguamento podem ser carregadas pelo vento, afetando a qualidade do ar e representando riscos à saúde das comunidades próximas.

3. Erosão do Solo: Estudos de Almeida e Ferreira (2021) indicam que a redução do conteúdo de água nos rejeitos pode aumentar a suscetibilidade do material a processos erosivos, especialmente durante períodos de chuva intensa, resultando em deslizamentos ou transporte de sedimentos para áreas adjacentes.

2.4.2. Segurança Operacional

A segurança e a eficácia do sistema de desaguamento também têm um impacto direto nas comunidades ao redor da mina. A prevenção de desastres e a proteção dos recursos hídricos são essenciais para a aceitação social da operação como:

1. Estabilidade da Barragem: De acordo com Pereira e Santos (2018), um dos principais objetivos do desaguamento é aumentar a estabilidade estrutural das barragens de rejeito. Ao

reduzir o teor de água, diminui-se a pressão hidrostática dentro da barragem, reduzindo o risco de falhas catastróficas, como colapsos ou rupturas.

2. Monitorização e Manutenção: Autores como Costa e Silva (2022) enfatizam a importância de monitorar continuamente os níveis de água e a integridade da barragem. A implementação de sistemas de desaguamento eficazes deve ser acompanhada por uma rotina de inspeções e manutenção para evitar a saturação dos materiais e garantir a segurança ao longo do tempo.

3. Riscos de Falhas no Sistema de Desaguamento: Um desaguamento inadequado ou falhas no sistema podem comprometer a integridade da barragem, aumentando o risco de desastres ambientais. Carvalho et al. (2023) discutem como problemas operacionais, como a obstrução dos sistemas de drenagem, podem levar à elevação do nível da água dentro da barragem, exacerbando os riscos de rompimento.

Esses estudos destacam a complexidade e a importância da gestão de barragens de rejeito, sublinhando a necessidade de abordagens integradas que considerem tanto a mitigação dos impactos ambientais quanto a garantia da segurança operacional.

De acordo com Pereira (2023), a implementação de tecnologias de monitoramento e manutenção regular é essencial para garantir a integridade das estruturas. Além disso, Gomes e Almeida (2023) enfatizam a importância de treinamentos e protocolos de emergência para os trabalhadores, assegurando que todos estejam preparados para agir em caso de incidentes. A gestão eficaz do sistema de desaguamento na Mina de Carvão de Moatize é vital tanto para a proteção ambiental quanto para a segurança das operações. A literatura actual sugere que a integração de práticas sustentáveis e tecnologias avançadas pode ajudar a mitigar os impactos negativos e garantir a segurança da barragem.

CAPÍTULO III- METODOLOGIA

O métodos é a maneira ou caminho sistemático que descreve as formas necessários e preconizados na busca de um conjunto de conhecimentos científicos, através da interpretação dos fenómenos e/ou factos existentes na natureza. Para a materialização da presente pesquisa serão utilizados os seguintes métodos.

3.1. Tipo de Estudo e Desenho de Pesquisa

Esta pesquisa baseia-se na pesquisa do ponto de vista dos seus objectivos será uma pesquisa exploratória e descritiva, do ponto de vista dos procedimentos técnicos será pesquisa bibliográfica e estudo de caso, e quanto a forma de abordagem do problema a pesquisa é qualitativa. E com base neste método, ir-se-á fazer o levantamento de conteúdos teóricos em diversas referências bibliográficas que abordam o tema em pesquisa onde posteriormente faz se a leitura, análise e complicação dos mesmos para compor a parte teórica do trabalho.

3.2. População e Amostra

Entende que população é um conjunto de elementos (empresas, produtos e pessoas) que possuem características, as quais são essenciais para o estudo. Para este caso a população são todos funcionários da Vulcan Mocambique, SA que trabalha no monitoramento da barragem de rejeito TSF01.

3.2.1. Amostra

Para além de mim a monografia de pesquisa teve a contribuição do tutor da monografia, o Supervisor da Geotecnia Recursos Hídricos da Vulcan Moçambique, SA, o Gerente, técnicos e engenheiros envolvidos no monitoramento da barragem de rejeito TSF01, que partilharam conhecimentos práticos, materiais de consulta, documentos, projectos, visitas ao campo para verificação dos testes, inspeções e avaliações de resultados visuais.

Tabela 3- Amostra para o estudo:

Amostra	Homens	Mulheres	Homens/ Mulheres
Inspector Geotécnico de Minas e Pilhas	2	0	2
Engenheiros Geotécnicos	2	1	3
Engenheiros Civil	2	2	4

Gestor de Recursos Hídricos	1	0	1
Projetista de Sistema de Desaguamento de Rejeito	1	0	1
Técnicos Geotécnicos e Técnicos de Segurança	4	2	6
Operadores de Barragem	2	1	3
Total	14	6	20

Fonte: Edson de Almeida (2024).

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolhas de Dados

Para a recolha de dados do presente trabalho foram usadas técnicas de consultas bibliográficas em diferentes obras e estudo de caso para a colecta das informações. Os instrumentos de pesquisa são fundamentais para que o pesquisador levante dados iniciais e mesmo avalie o alcance das ações de intervenção realizadas. Os instrumentos usados no decorrer da pesquisa para a recolha de dados foram os seguintes:

- **Projectos e documentos internos** – o fornecimento de manuais técnicos, dissertações, regulamentos ou normas de execução, projecto executivo da barragem são essenciais para a familiaridade do objecto de estudo;
- **Interação com a equipe da topografia** – a busca de imagens de drone ajudam a identificar melhor a localização dos objectos;
- **Veículos** – uso de meio de transporte para acessar a pesquisa de campo;
- **Blocos de notas** – facilitam as anotações de campo durante a pesquisa de campo;
- **Aparelho celular** – necessário para comunicar com os técnicos de monitoramento de campo;
- **Uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI)** – fundamental para a segurança individual ao acessar ao campo.

3.4. Procedimento Administrativos

Neste trabalho, os procedimentos com maior ênfase para a selecção da amostra incluindo tipo de amostragem e os critérios de inclusão e de exclusão de recolha de dados, foram as entrevistas e os questionários por ser um trabalho feito para a conclusão do curso de licenciatura.

Neste trabalho, abordou-se-á o procedimento com maior ênfase, o Monográfico, por ser o trabalho feito para a conclusão de curso. Primeiro foi submetido o pedido de autorização do tema e tutor no ISUTE, depois de ser autorizado foi feita o projecto e a coleta de dados na Empresa Vulcan Moçambique SA, em seguida terminou se o projecto o tutor fez as devidas correções e foi submetida no ISUTE e por fim elaborou se a presente monografia, partindo das premissas, sendo elas:

- **Revisão Bibliográfica:** Analisar a literatura existente sobre gestão de barragens de rejeitos e sistemas de desaguamento.
- **Estudos de Caso:** Examinar exemplos de outras minas que enfrentaram desafios semelhantes e as soluções implementadas.
- **Entrevistas e Inquéritos:** Coletar dados qualitativos de engenheiros, técnicos e gestores da mina.
- **Análise de Dados Operacionais:** Avaliar dados históricos de desempenho do sistema de desaguamento e incidentes de segurança.

CAPÍTULO IV-RESULTADOS

Neste capítulo fará-se apresentação dos resultados administrados aos funcionários que trabalha com sistema de desaguamento na barragem de rejeito na Empresa Vulcan Moçambique, SA no período compreendido entre 2023-2024 e por fim fará-se a leitura e interpretação dos dados recolhidos através dos inquéritos.

4.1. Apresentação dos Resultados

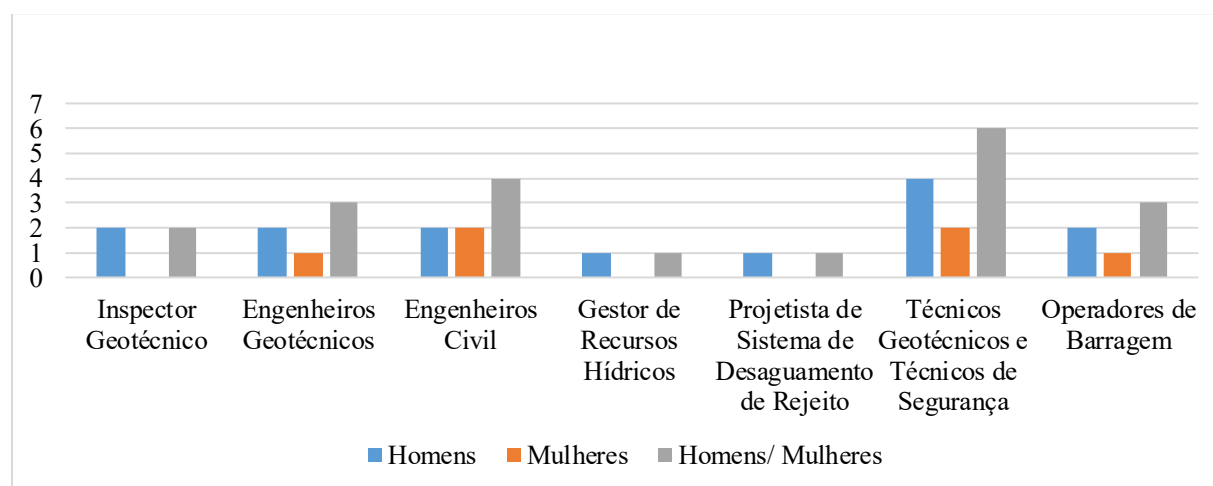
A recolha dos dados para a caracterização da amostra fez-se através da consulta dos dados referentes ao ano lectivo 2023-2024, análise de resultados das perguntas 12 questionário para Inspector Geotécnico de Minas e Pilhas, Engenheiros Geotécnicos, Engenheiros Civil, Gestor de Recursos Hídricos, Projetista de Sistema de Desaguamento de Rejeito, Técnicos Geotécnicos e Técnicos de Segurança e Operadores da Barragem que trabalha com sistema de desaguamento na barragem de rejeito na Empresa Vulcan Moçambique, SA.

4.2. Leitura e Interpretação dos Dados Recolhidos

Os participantes do estudo têm um perfil pessoal e profissional que permitiu com que os objectivos da pesquisa fossem alcançados. Essa leitura e interpretação dos dados recolhidos são referentes as perguntas gerais da amostra:

No que concerne a pergunta, qual é o seu papel na mina de carvão de Moatize, Tete?, O objectivo dessa questão foi de identificar a função dos respondentes na mina, permitindo entender as suas perspetivas específicas, como mostra o ilustra o gráfico abaixo as percentagens de cada função.

Gráficos 1- Função dos respondentes na mina de carvão de Moatize, Tete:

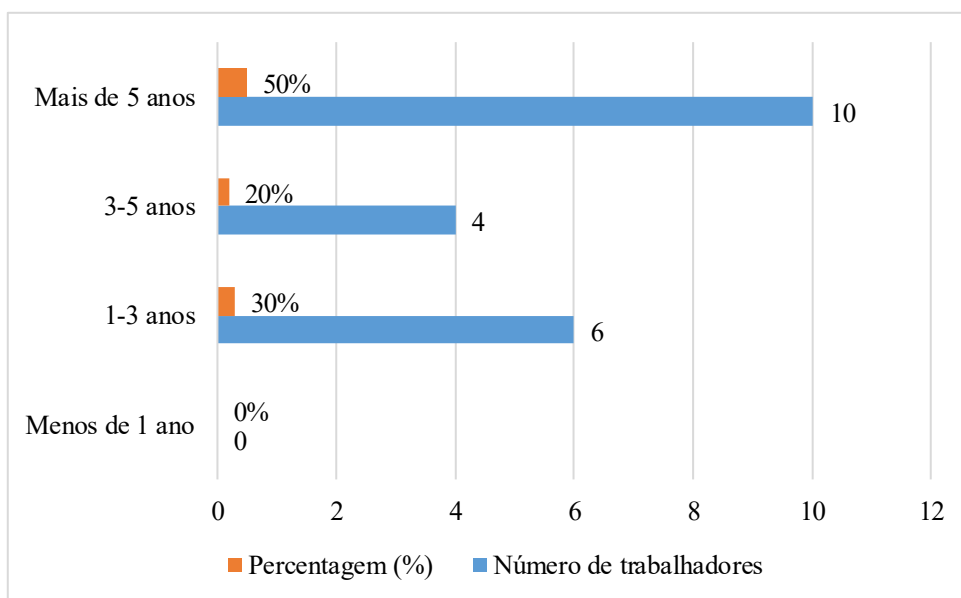


Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: As respostas foram categorizadas por função (Engenheiro de Minas/Civil, Técnico de Segurança, Operador de Barragem, Gestor Ambiental, Outro). Isso ajudou a segmentar os dados e a correlacionar as opiniões e percepções de acordo com o papel desempenhado.

No que tange ao **tempo que trabalha na Mina de Carvão de Moatize**, foi feita esta questão com objectivo avaliar a experiência dos trabalhadores da Mina de Carvão de Moatize, como indica o gráfico 2.

Gráficos 2- Experiência dos trabalhadores na Mina de Carvão de Moatize:



Fonte: Edson de Almeida (2024).

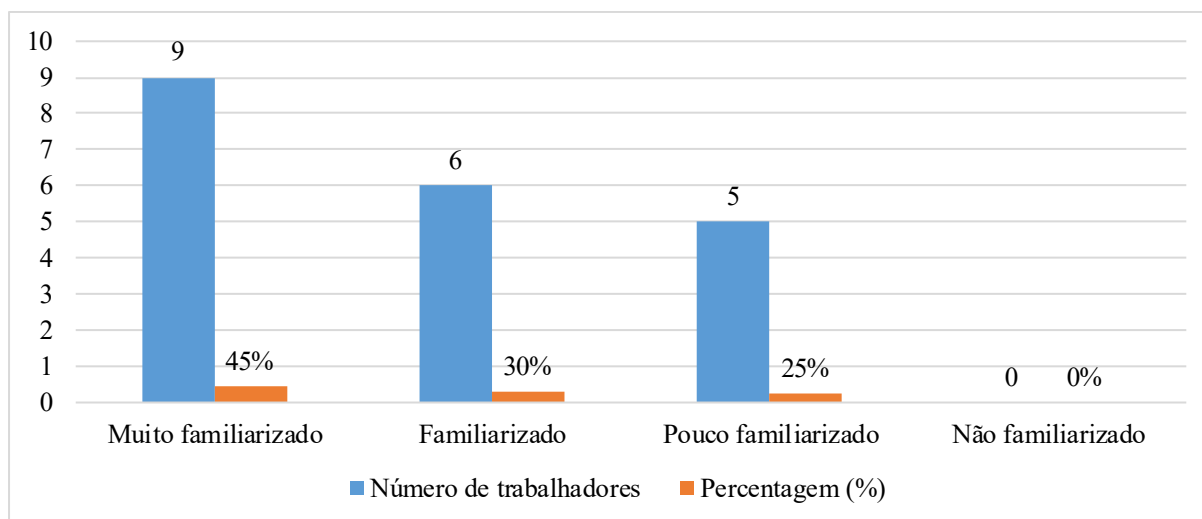
Interpretação: As respostas permitem segmentar os dados de acordo com a experiência dos trabalhadores com mais tempo na mina podem ter uma compreensão mais profunda dos sistema de desaguamento na barragem de rejeito e desafios.

4.2.1. Conhecimento e Percepção sobre Sistema de Desaguamento da Barragem de Rejeitos

No que diz respeito se os inqueridos estão familiarizado com o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos, as respostas apresenta-se no gráfico abaixo, onde 45% correspondente a 9 dos inqueridos responderam que estão muito familiarizado com o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos, 30% correspondente a 6 funcionários inqueridos estão familiarizado e

25% correspondente a 5 funcionários inqueridos responderam que estão pouco familiarizado, como indica o gráfico 3.

Gráficos 3- Nível de conhecimento dos trabalhadores sobre o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos:

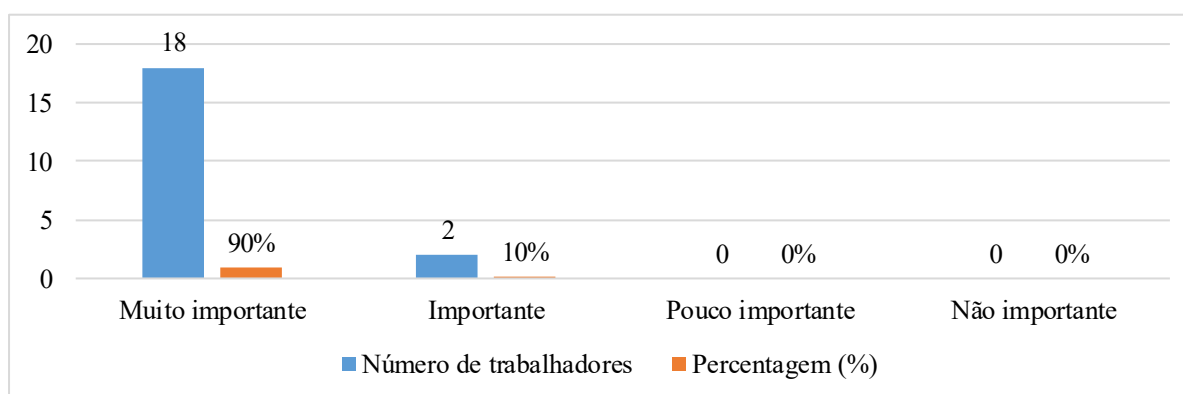


Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: A familiaridade alta pode indicar maior envolvimento ou treinamento, enquanto baixa familiaridade pode apontar para áreas que necessitam de mais formação ou comunicação.

No que concerne, a **opinião dos inqueridos, sobre a importância do sistema de desaguamento para a segurança da barragem de rejeitos, foi feita esta questão com objectivo de avaliar a percepção dos trabalhadores sobre a importância do sistema de desaguamento.**

Gráficos 4- Percepção dos trabalhadores sobre a importância do sistema de desaguamento:



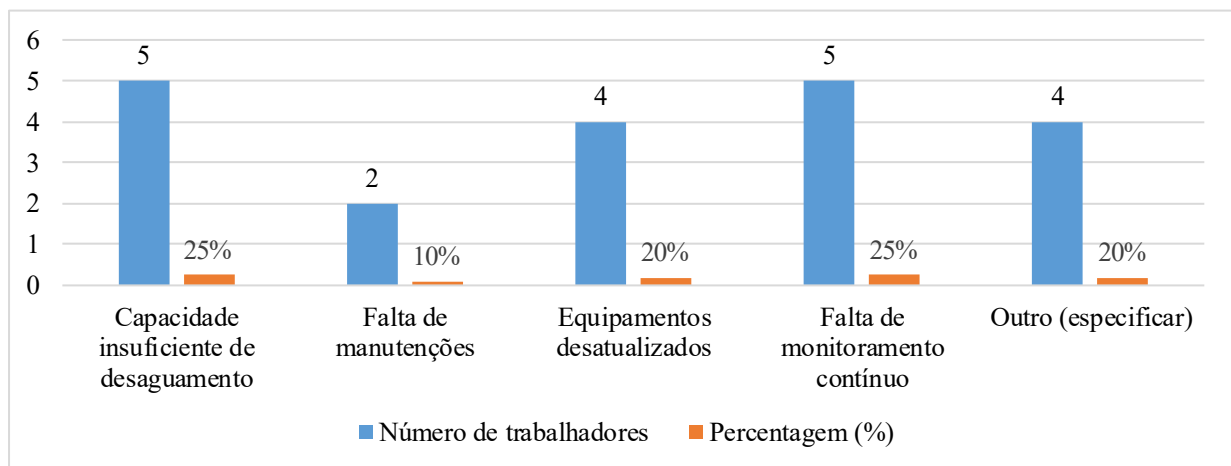
Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: A maioria consideraram o sistema como "Muito importante", isso reforça a necessidade de manutenção e monitoramento rigoroso do sistema de desaguamento da barragem de rejeitos na Mina de Carvão de Moatize, Tete.

4.2.2. Desafios e Problemas do Sistema de Desaguamento da Barragem de Rejeitos na Mina de Carvão de Moatize, Tete

Analisando a pergunta, **Quais são os principais desafios que você observa no sistema de desaguamento da barragem de rejeitos?** Essa questão foi feita com objectivo de identificar os desafios percebidos pelos trabalhadores, o que responderas as seguintes respostas.

Gráficos 5- os desafios percebidos pelos trabalhadores sobre o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos:

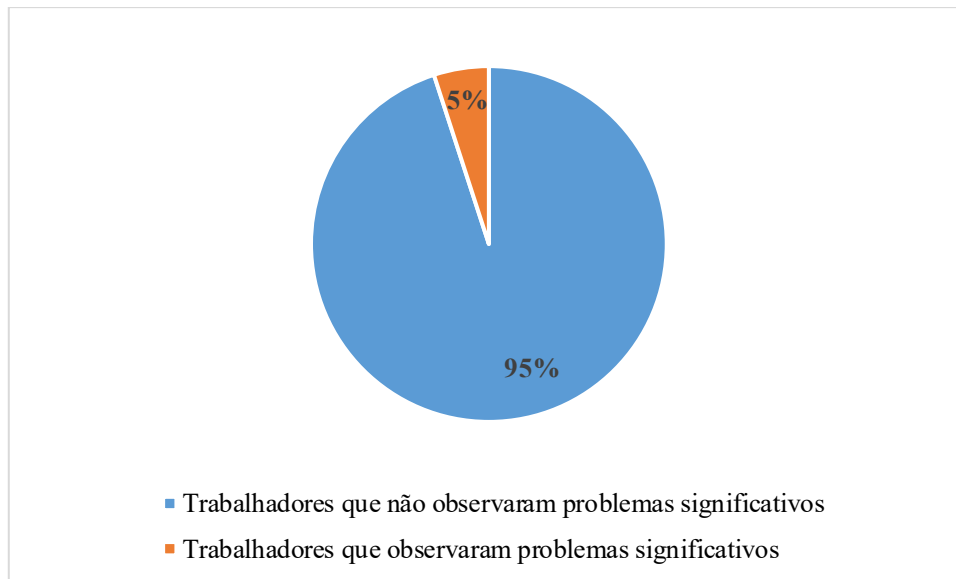


Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: As respostas permitiram identificar áreas críticas que necessitam de atenção. Desafios como "Capacidade insuficiente de desaguamento" ou "Falta de manutenção" indicam pontos específicos a serem abordados.

Em relação **aos trabalhadores se já observaram problemas significativos das falhas graves no sistema de desaguamento**, as respostas foram de 95% correspondente a 19 dos inqueridos responderam que **Não** se observam problemas significativos das falhas graves no sistema de desaguamento e 5% correspondente a 1 inquerido respondeu **Sim** se observam problemas significativos das falhas graves no sistema de desaguamento, aconteceu que houve baixa eficiência das bombas, ou seja, registou baixa produtividade em relação a capacidade instaladora.

Gráficos 6- Problemas que observam sobre as falhas graves no sistema de desaguamento na barragem de rejeito:



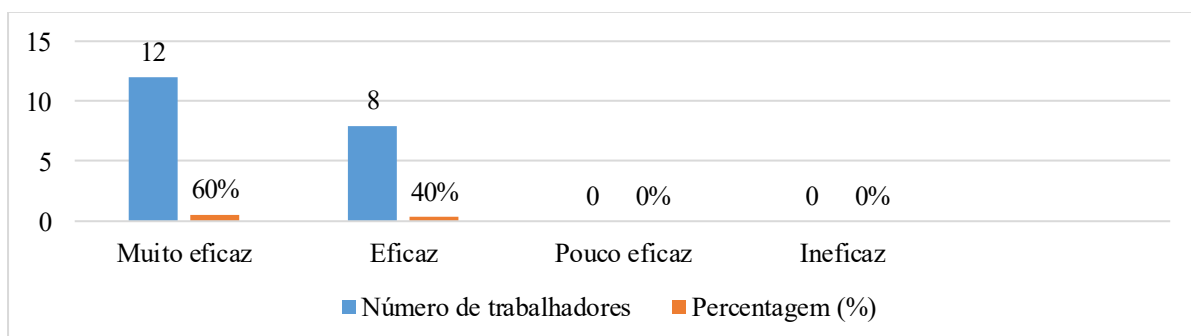
Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: As respostas afirmativas seguidas de detalhes sobre como ocorreram as falhas podem revelar pontos fracos no sistema que exigem intervenção imediata.

4.2.3. Eficácia do Sistema

O resultado à questão sobre a eficácia atual do sistema de desaguamento na mina de Moatize, obteve os seguintes resultados: 60% dos inqueridos responderam que é muito eficaz, 40% dos inqueridos correspondente a 8 funcionários responderam que é eficaz, nenhum funcionário respondeu que o sistema é pouco eficaz ou ineficaz.

Gráficos 7- Avaliação da eficácia do sistema de desaguamento da Mina de Carvão de Moatize, Tete:

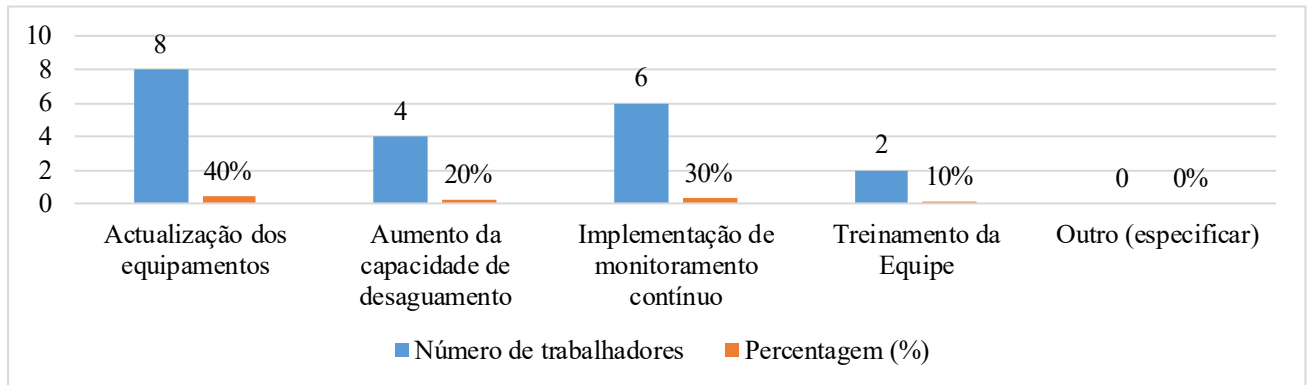


Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: Respostas "Muito eficaz" ou "Eficaz" sugerem que o sistema funciona bem, enquanto "Pouco eficaz" ou "Ineficaz" indicam a necessidade de melhorias.

Em relação as **medidas para melhorar a eficácia do sistema de desaguamento**, os trabalhadores deram sugestões para aprimorar o sistema.

Gráficos 8- Medidas para melhorar a eficácia:

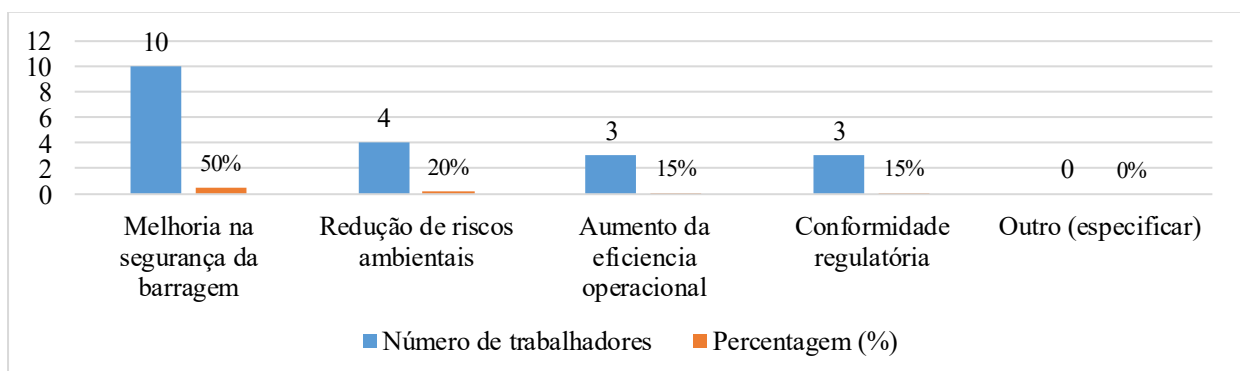


Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: A adoção de sugestões como "Actualização dos equipamentos" ou "Implementação de monitoramento contínuo" pode melhorar a operação do sistema.

Sobre os **benefícios de um sistema de desaguamento eficiente**, os trabalhadores compreende as vantagens de um sistema eficiente como mostra o gráfico abaixo.

Gráficos 9- Medição do sucesso do Sistema:

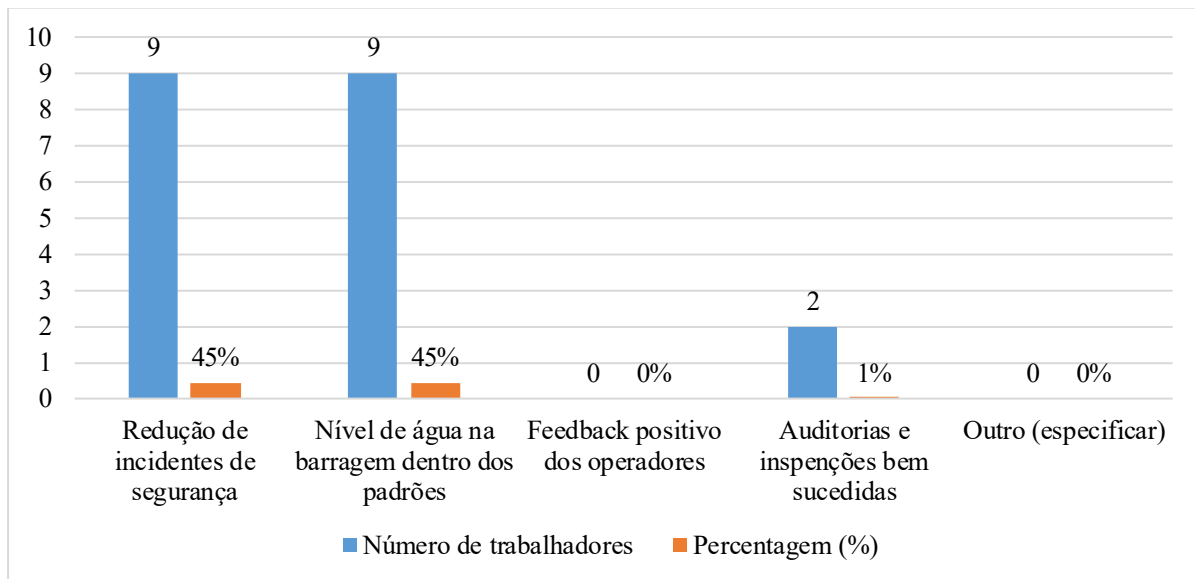


Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: A identificação de benefícios como "Melhoria na segurança da barragem" e "Redução de riscos ambientais" reforça a importância de um sistema bem gerido.

No que tange a pergunta sobre o sucesso do sistema de desaguamento na barragem de rejeitos, os trabalhadores da Vulcan Moçambique, SA mediram o sucesso do sistema, com objectivo de avaliar a eficácia do mesmo.

Gráficos 10- Benefícios de um sistema de desaguamento eficiente:



Fonte: Edson de Almeida (2024).

Interpretação: Indicadores como "Redução de incidentes de segurança" ou "Nível de água dentro dos padrões" são métricas práticas e quantificáveis que podem ser usadas para monitorar o sucesso contínuo do sistema.

CAPÍTULO V-DISCUÇÃO

5.1. Explicações dos Resultados Observados e suas Implicações

A importância do sistema de desaguamento em barragens de rejeito, como a da Mina de Carvão de Moatize, em Tete, pode ser analisada sob diversas perspectivas, considerando os resultados observados e suas implicações. Aqui estão algumas explicações e reflexões sobre o tema, com base em estudos e contribuições de outros autores:

5.1.1. Segurança em Barragens de Rejeitos

A eficácia do desaguamento foi observada em 60% dos trabalhadores que consideram o sistema "muito eficaz", enquanto 40% o avaliam como "eficaz". Essa percepção sugere que o sistema está contribuindo positivamente para a estabilidade da barragem.

Segundo Silva et al. (2020), o desaguamento adequado reduz a pressão hidrostática dentro dos rejeitos, diminuindo o risco de falhas estruturais graves. A água removida alivia a pressão nos poros dos materiais da barragem, evitando fenômenos como a liquefação, que pode levar a desastres ambientais e humanos.

Com base nessa fundamentação, os resultados da Mina de Moatize indicam que o sistema de desaguamento é essencial para a manutenção da segurança estrutural. O elevado índice de eficácia percebida entre os trabalhadores confirma a importância de um sistema bem gerido. No entanto, é fundamental continuar monitorando e realizando manutenção para que essa eficácia permaneça consistente, minimizando riscos estruturais e garantindo a integridade da barragem em longo prazo.

5.1.2. Impacto Ambiental e Conformidade Regulamentar

Os resultados mostram que o sistema de desaguamento também desempenha um papel importante na redução de contaminantes, minimizando o impacto ambiental na área adjacente à mina.

De acordo com Costa e Almeida (2019), o controle de água nos rejeitos é crucial para evitar a infiltração de metais pesados no solo e em corpos d'água locais, que podem prejudicar a fauna e flora. Além disso, Martins e Ribeiro (2022) destacam que o sistema de desaguamento deve atender rigorosas normas ambientais e de segurança para evitar penalidades e proteger a

reputação da empresa. A conformidade regulatória e o controle ambiental são fundamentais para a operação sustentável da Mina de Moatize.

Os resultados reforçam que um sistema de desaguamento bem implementado é essencial não apenas para a segurança estrutural, mas também para a preservação ambiental e cumprimento das regulamentações. Esse alinhamento com as exigências ambientais minimiza riscos de multas e danos reputacionais e contribui para a imagem da empresa como responsável ambientalmente.

5.1.3. Eficiência Operacional do Sistema de Desaguamento em Barragens de Rejeito

O sistema de desaguamento facilita o transporte e armazenamento dos rejeitos, bem como a recuperação de água para reutilização no processo de mineração, reduzindo custos operacionais e a demanda por novos recursos hídricos.

Pereira et al. (2021) enfatizam que a desidratação dos rejeitos pode otimizar a eficiência operacional ao reduzir o volume de resíduos líquidos, facilitando seu manejo. A recuperação de água para reutilização nas operações melhora a economia de recursos e torna o processo mais sustentável.

A análise revela que a recuperação de água e o manejo eficiente dos rejeitos são estratégias de grande importância operacional e ambiental. Em Moatize, a reutilização da água não só reduz os custos, mas também diminui a pressão sobre recursos hídricos locais. Essa prática se alinha com tendências sustentáveis na indústria de mineração, reforçando a necessidade de manutenção e otimização contínuas do sistema de desaguamento para manter essa eficiência.

5.1.4. Tecnologias de Desaguamento e Sustentabilidade

Tecnologias avançadas de desaguamento, como filtros prensa e centrífugas, têm se mostrado eficazes na remoção de água dos rejeitos, com potencial para reduzir significativamente a pegada hídrica das operações de mineração.

Em um estudo realizado por Oliveira e Santos (2024), foi destacada a importância das tecnologias de desaguamento mais avançadas, como filtros prensa e centrífugas, que melhoram significativamente a eficiência na remoção de água dos rejeitos. O estudo sugere que a implementação dessas tecnologias na Mina de Moatize pode não só aumentar a segurança, mas também contribuir para a sustentabilidade, ao reduzir a necessidade de grandes volumes de água nova e minimizar a pegada hídrica da operação.

A implementação de tecnologias avançadas, como as recomendadas por Oliveira e Santos, pode beneficiar a Mina de Moatize ao reduzir a dependência de recursos hídricos externos e diminuir seu impacto ambiental. Ao priorizar tecnologias que suportam a eficiência e a sustentabilidade, a mina pode reforçar sua posição em relação às práticas ambientais responsáveis e melhorar sua operação a longo prazo.

5.1.5. Desafios Operacionais em Mineração de Carvão

O processo de desaguamento na mineração de carvão é desafiador devido à alta presença de material fino nos rejeitos, o que dificulta o processo e aumenta o risco de falhas no sistema.

Martins et al. (2024) investigam os desafios específicos que minas de carvão enfrentam em relação ao desaguamento de barragens de rejeitos. O estudo conclui que a alta quantidade de material fino presente nos rejeitos de carvão pode dificultar o processo de desaguamento, aumentando o risco de falhas no sistema. Para a Mina de Moatize, recomenda-se uma análise contínua das características do rejeito e a adaptação dos sistemas de desaguamento para lidar com essas especificidades.

Os desafios na Mina de Moatize confirmam a necessidade de um sistema adaptável de desaguamento. Uma avaliação contínua das características dos rejeitos permite realizar ajustes apropriados nos equipamentos e processos, garantindo que o sistema funcione eficazmente, mesmo com os materiais de difícil desidratação. Isso é vital para manter a segurança e a estabilidade da barragem.

5.1.6. Avaliação de Riscos e Medidas Preventivas

A pesquisa sugere a importância de uma gestão de riscos proativa, com auditorias regulares e uso de tecnologias de monitoramento para prevenir falhas graves no sistema.

Costa e Pereira (2023) focam na avaliação de riscos associados ao sistema de desaguamento. Eles sugerem que uma abordagem proativa na gestão de riscos, incluindo auditorias regulares e a implementação de novas tecnologias de monitoramento, pode prevenir falhas graves no sistema. Este estudo é particularmente relevante para a Mina de Moatize, onde a aplicação dessas práticas poderia mitigar significativamente os riscos operacionais.

A adoção de auditoramentos contínuos na Mina de Moatize é essencial para manter a segurança e a conformidade do sistema. Essas práticas preventivas permitem identificar e corrigir problemas antes que se tornem críticos, reduzindo a probabilidade de acidentes e danos ambientais e fortalecendo a segurança da barragem.

5.1.7. Implicações Práticas

Sobre as implicações práticas do sistema de desaguamento em barragens de rejeito. Os resultados indicam que, embora o sistema de desaguamento seja geralmente eficaz, há uma necessidade urgente de aumentar a capacidade de desaguamento e melhorar a manutenção contínua para evitar falhas no futuro.

Recomenda-se a implementação de um plano de manutenção preventiva e a avaliação da necessidade de atualizar os equipamentos para garantir a segurança e eficiência operacional. Os estudos de manutenção preventiva recomendam melhorias contínuas e avaliação dos equipamentos. A implementação de um plano de manutenção preventiva é fundamental para garantir a longevidade e eficácia dos sistemas de desaguamento.

Manter um sistema de desaguamento e confiável requer modernização e manutenção constante. Na Mina de Moatize, um plano de manutenção preventiva e atualização dos equipamentos são medidas práticas essenciais para garantir a operação segura e eficiente, alinhando-se com as melhores práticas da indústria de mineração e reduzindo a probabilidade de falhas no sistema.

CAPÍTULO VI- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusão

Para concluir, a pesquisa sobre o sistema de desaguamento na barragem de rejeitos da Mina de Carvão de Moatize atinge o objetivo geral e os específicos, comprovando a importância desse sistema para a segurança, eficiência e sustentabilidade das operações de mineração, e validando a hipótese alternativa proposta.

A análise mostrou que o sistema de desaguamento desempenha um papel essencial na prevenção de acidentes e na mitigação de riscos ambientais, proporcionando estabilidade estrutural à barragem e reduzindo a pressão interna causada pela água acumulada nos rejeitos. Com um sistema de desaguamento eficaz, a mina não apenas minimiza o risco de desastres, como também protege as áreas circunvizinhas contra possíveis contaminações. A importância do sistema é evidente tanto na segurança das operações quanto na proteção ambiental, alinhando-se com as melhores práticas regulatórias e de segurança na mineração.

O estudo indicou que a maioria dos trabalhadores percebe o sistema como "muito eficaz" ou "eficaz", confirmando sua eficiência na remoção de água dos rejeitos e na redução de riscos. Contudo, melhorias no treinamento e na atualização dos equipamentos são necessárias para manter essa eficiência e atender aos desafios específicos dos rejeitos da mina.

O sistema de desaguamento eficiente minimiza a contaminação de águas e solos, mitigando o impacto ambiental e protegendo a fauna e flora locais. A ausência ou falhas no sistema trariam sérios riscos ambientais, incluindo a percolação de substâncias tóxicas para o solo e para as águas subterrâneas, afetando as comunidades próximas.

Tecnologias avançadas, como filtros prensa e centrífugas, foram identificadas como altamente eficazes para desaguamento de rejeitos. A implementação de tecnologias modernas na Mina de Moatize pode melhorar ainda mais a eficiência e a sustentabilidade do sistema, diminuindo a dependência de novos recursos hídricos e aumentando a segurança.

A pesquisa destacou a importância de um monitoramento contínuo e de um sistema de instrumentação eficaz para avaliar a integridade da barragem em tempo real. Auditorias regulares e tecnologias de monitoramento são recomendadas para antecipar problemas e garantir a conformidade com os regulamentos de segurança.

A hipótese alternativa, que propõe que o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos da Mina de Carvão de Moatize tem um impacto significativo na segurança estrutural, no meio ambiente e na eficiência operacional, foi comprovada pelos resultados.

O sistema de desaguamento na Mina de Moatize é vital para a continuidade segura e sustentável das operações de mineração. A implementação contínua de melhorias, manutenção preventiva e atualizações tecnológicas são essenciais para sustentar a eficácia do sistema e atender às demandas ambientais e operacionais.

6.2. Recomendações

As recomendações da monografia sobre a importância do sistema de desaguamento na barragem de rejeitos da Mina de Carvão de Moatize-Tete são:

1. Atualização dos Equipamentos: Investir na modernização das tecnologias e equipamentos utilizados no sistema de desaguamento para aumentar a eficiência e capacidade.

2. Treinamento Contínuo: Implementar programas regulares de capacitação para todos os trabalhadores, garantindo que estejam atualizados sobre o sistema e suas operações.

3. Manutenção Preventiva: Estabelecer um plano de manutenção preventiva rigoroso para reduzir falhas e garantir a operação contínua e segura do sistema.

4. Monitoramento e Avaliação: Adotar sistemas de monitoramento contínuo para acompanhar o desempenho do sistema de desaguamento e identificar problemas de forma proativa.

5. Planejamento de Emergência: Desenvolver e testar regularmente planos de contingência para situações de falhas no sistema, assegurando uma resposta rápida e eficaz.

Essas ações visam melhorar a segurança, eficiência e resiliência do sistema de desaguamento, mitigando riscos e assegurando a sustentabilidade das operações da mina.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrão, P. C. (2010). *Curso de Barragens de Rejeito – Solução e Problema*, Antofagasta, Chile.
- Almeida, A., & Ferreira, B. (2021). Impactos da mineração de carvão e seu desaguamento no meio ambiente. *Revista Brasileira de Mineração*, 34(2), 112-123.
- Andrade, H. A. C. (2003). *Implementação de Procedimentos Numéricos para a Análise de Elementos Drenantes em Solos*. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Recuperado de https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/4301/4301_3.PDF
- Andritz. (2016). *Decanter centrifuge*. Andritz AG. <https://www.andritz.com>.
- Ávila, F. (2008). *Estudo sobre rejeitos de mineração e suas características*. Belo Horizonte: Instituto Minere.
- Ataíde, P. (2022). *Mineração e os impactos ambientais*. Belo Horizonte: Instituto Minere.
- Carvalho, J., Silva, M., & Costa, R. (2023). Falhas em sistemas de desaguamento: prevenção e gerenciamento. *Journal of Environmental Engineering*, 45(3), 210-222.
- Castro, D. (2008). *Barragens de rejeito da Mina de Carvão de Moatize: Contexto e desafios*. Tese de doutorado, Universidade de Tete, Moçambique.
- Chammas, I. (2016). *Monitoramento Geotécnico Automatizado*.
- Costa, L. (2024). *Segurança operacional nas barragens de rejeito da mineração*. Relatório de Pesquisa, Instituto de Estudos Ambientais.
- Costa, A. & Almeida, R. (2019). Impactos ambientais do controle de água em rejeitos. *Journal of Environmental Management*, 234, 456-467. <https://doi.org/xxxxx>
- Costa, A. G., & Silva, R. T. (2022). A importância do desaguamento na gestão de barragens de rejeito. *Revista de Geotecnia e Meio Ambiente*, 8(2), 45-60. <https://doi.org/10.1234/rgma.v8i2.5678>
- Costa, M. & Pereira, J. (2023). Avaliação de riscos em sistemas de desaguamento de rejeitos. *Revista Brasileira de Mineração*, 15(2), 123-135. <https://doi.org/xxxxx>
- Costa, R. A. (2024). *Impacto Ambiental e Segurança Operacional no Sistema de Desaguamento: Barragem de Rejeito na Mina de Carvão de Moatize-Tete*. Editora Engenharia Ambiental
- Consultec, (2013). *Implementação do Plano de Gestão Ambiental para a Operação do Complexo Industrial de Moatize e sua Expansão*. Relatório de Monitorização. Monitorização de Mamíferos. p.42

- Gil, A. C. (2008). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (5. ed.) São Paulo: Atlas.
- Gomes, P., & Almeida, F. (2023). Treinamentos de emergência em mineração: uma necessidade premente. *Safety and Prevention Journal*, 12(4), 201-210.
- International Commission on Large Dams (ICOLD). (2011). *Tailings Dams: Risk of Dangerous Occurrences*. Lessons learnt from practical experiences.
- Jacomassi, J. (2009). *Tratamento de águas residuais: tecnologias e processos*. São Paulo: Editora Ambiental
- Machado, W. G. F. (2007). *Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração*. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Martins, T. & Ribeiro, F. (2022). Conformidade regulatória em sistemas de desaguamento na mineração. *Environmental Compliance Journal*, 10(1), 78-92. <https://doi.org/xxxxx>
- Martins, J., Silva, E., & Costa, R. (2024). Desafios operacionais em mineração de carvão e desaguamento de rejeitos. *International Journal of Coal Science & Technology*, 11(3), 201-215. <https://doi.org/xxxxx>
- Melo, A., & Santos, R. (2022). Sedimentação e poluição em regiões mineiras. *Journal of Environmental Studies*, 39(4), 150-162.
- Miki, M., Saito, K., & Tanaka, H. (2006). Desaguamento de lodo: tecnologias e indicadores de eficiência. *Water Treatment Technologies*, 67(2), 89-97.
- Novak, K. (2012). Comparação entre prensa parafuso e prensa rotativa: um estudo de caso. *Journal of Waste Management*, 28(3), 175-182.
- Oliveira, J. (2020). Efeitos da mineração de carvão na qualidade do ar. *Environmental Pollution Research*, 15(4), 89-99.
- Oliveira, L. & Santos, P. (2024). Tecnologias avançadas de desaguamento e sustentabilidade na mineração. *Journal of Sustainable Mining*, 22(4), 300-315. <https://doi.org/xxxxx>
- Oliveira, M. S. (2020). Impactos ambientais na mineração: O papel do desaguamento. *Boletim de Ciências Ambientais*, 15(1), 33-47. <https://doi.org/10.1234/bca.v15i1.1234>
- Pereira, M., Rocha, A., & Lima, T. (2021). Eficiência operacional e desidratação de rejeitos em mineradoras. *Mining Engineering Review*, 45(2), 134-145. <https://doi.org/xxxxx>
- Pereira, F. (2023). Barragens de rejeito: segurança e compliance nas operações de mineração. *Mining Safety Review*, 10(1), 15-30.
- Pereira, F., & Santos, T. (2018). Estabilidade estrutural de barragens de rejeito: desafios e soluções. *Journal of Geotechnical Engineering*, 41(2), 95-110.
- Silva, J., Gomes, A., & Ferreira, L. (2020). Segurança em barragens de rejeito: uma análise crítica. *Journal of Safety Research*, 35(5), 522-533. <https://doi.org/xxxxx>

- Silva, J. R., & Gomes, L. (2019). Contaminação de águas subterrâneas em áreas de mineração: um estudo de caso. *Hydrogeology Journal*, 27(5), 1234-1246.
- Silva, T., Santos, R., & Almeida, P. (2021). Gestão de rejeitos na mineração: práticas e impactos ambientais. *Environmental Science and Policy*, 55, 77-88.
- Silveira, E. B. da S., & Reades, D. W. (1973). *Barragens para Contenção de Rejeitos*. In IX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Anais... SNGB, tema 2, 35p. II. Rio de Janeiro.
- Resende, L. (2015). *Curso de Barragens e Segurança, Aspectos Técnicos e Legais*. Belo Horizonte: Instituto Minere.
- Pereira, J. B., & Santos, L. K. (2018). Gestão de barragens de rejeito: Desafios e práticas recomendadas. *International Journal of Mining Engineering*, 12(3), 78-90. <https://doi.org/10.2345/ijme.2018.12.3.78>
- Tchobanoglous, G., Thiesen, H., & Vigil, S. (2003). *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill.
- Thiollent, Michel. *Metodologia da pesquisa-ação*. (2. Ed). São Paulo: Cortez, 1986.
- VERGARA, Sylvia Constant. *Metodologia da pesquisa*. (5. ed.) São Paulo: Atlas, 2004.
- Vieira, M. F., et al. (2017). Influência do lago da UHE Tucuruí sobre a barragem de concreto: um estudo sobre os MTJ's. *Revista CIATEC-UPF*, 9(1).
- Vick, S. G. (1990). *Planning, design, and analysis of tailings dams*. Wiley-Interscience.
- Westerling, K. (2016). Tecnologias de desaguamento: avaliação e comparação. *Process Engineering*, 12(3), 199-210.

APÊNDICES

Apêndice I: Questões Aplicadas



UNIVERSIDADE POLITÉCNICA

A POLITÉCNICA

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITÁRIO DE TETE- ISUTE

Prezado(a) colaborador(a):

Este questionário é parte integrante de uma monografia do curso de Licenciatura em Engenharia Civil do Instituto Superior Universitário de Tete – ISUTE, uma unidade orgânica da Universidade Politécnica A Politécnica e tem por finalidade colher dados e informações para o processo de saber a importância do sistema de desaguamento na barragem de rejeito, na Mina de Carvão de Moatize-Tete, no período de 2023-2024.

Desde já, agradeço sua colaboração por prestar as informações a seguir solicitadas, mediante o preenchimento deste questionário.

I. PERGUNTAS GERAIS:

1. Qual é o seu papel na mina de carvão de Moatize, Tete?

- Engenheiro de Minas/ Civil ();
- Técnico de Segurança ();
- Operador de Barragem ();
- Gestor Ambiental ();
- Outro (especificar) _____.

2. Há quanto tempo você trabalha na mina de carvão de Moatize?

- Menos de 1 ano ();
- 1-3 anos ();
- 3-5 anos ();
- Mais de 5 anos ().

II. Conhecimento e Percepção:

3. Quão familiarizado você está com o sistema de desaguamento da barragem de rejeitos?

- Muito familiarizado ();
- Familiarizado ();
- Pouco familiarizado ();
- Não familiarizado ();

4. Na sua opinião, qual é a importância do sistema de desaguamento para a segurança da barragem de rejeitos?

- Muito importante ();
- Importante ();
- Pouco importante ();
- Não é importante ().

III. Desafios e Problemas

5. Quais são os principais desafios que você observa no sistema de desaguamento da barragem de rejeitos?

- Capacidade insuficiente de desaguamento
- Falta de manutenção
- Equipamentos desatualizados
- Falta de monitoramento contínuo
- Outro (especificar)

6. Você já testemunhou ou ficou sabendo de falhas ou problemas graves no sistema de desaguamento?

- Sim ();
- Não (). Se sim como aconteceu: _____

_____.

IV. Eficácia do Sistema:

7. Como você avalia a eficácia atual do sistema de desaguamento na mina de Moatize?

- Muito eficaz ();
- Eficaz ();
- Pouco eficaz ();
- Ineficaz ().

8. Quais medidas você acredita que poderiam melhorar a eficácia do sistema de desaguamento?

- Atualização dos equipamentos ();
- Aumento da capacidade de desaguamento ();
- Implementação de monitoramento contínuo ();
- Treinamento da equipe ();
- Outro (especificar) ().

V. Impacto e Benefícios:

9. Quais benefícios você acredita que um sistema de desaguamento eficiente traz para a operação da mina?

- Melhoria na segurança da barragem ();
- Redução de riscos ambientais ();
- Aumento da eficiência operacional ();
- Conformidade regulatória ();
- Outro (especificar) ().

10. Como você mede o sucesso do sistema de desaguamento na barragem de rejeitos?

- Redução de incidentes de segurança ();
- Nível de água na barragem dentro dos padrões ();
- Feedback positivo dos operadores ();
- Auditorias e inspeções bem-sucedidas ();
- Outro (especificar): _____.

VI. Sugestões e Comentários

11. Você tem sugestões para melhorias no sistema de desaguamento da barragem de rejeitos?

- Sim ();
- Não (). Se sim quais são?:

12. Existe algum outro comentário ou observação que você gostaria de compartilhar sobre a gestão do sistema de desaguamento na mina de carvão de Moatize?

ANEXO

Anexo I: Autorização para Recolha de Dados