

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PROCESSO DE DISPOSIÇÃO A SECO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: UMA  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

MARIA GABRIELA REZENDE MAROTTA MOREIRA

JUIZ DE FORA

2025

PROCESSO DE DISPOSIÇÃO A SECO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: UMA  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

MARIA GABRIELA REZENDE MAROTTA MOREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Juiz de Fora, como  
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Geotecnia

Orientador: Tatiana Tavares Rodriguez

Coorientador(a):

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2025


PROCESSO DE DISPOSIÇÃO A SECO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: UMA  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

MARIA GABRIELA REZENDE MAROTTA MOREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com a Resolução N° 01/2018 do Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 13/03/2025


Por:

Documento assinado digitalmente  
 TATIANA TAVARES RODRIGUEZ  
Data: 14/03/2025 18:15:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Tatiana Tavares Rodriguez D.Sc (Orientadora)


Universidade Federal de Juiz de Fora/ Departamento de Transportes e Geotecnia

Documento assinado digitalmente  
 GUILHERME SOLDATI FERREIRA  
Data: 17/03/2025 16:10:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Guilherme Soldati Ferreira, D.Sc. (Examinador 01)

Universidade Federal de Juiz de Fora/ Departamento de Transportes e Geotecnia

Documento assinado digitalmente  
 LEONARDO PEREIRA REZENDE  
Data: 17/03/2025 18:54:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Eng. Leonardo Pereira Rezende (Examinador 02)

Nexa Resources

## AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa não apenas o fim de uma jornada acadêmica, mas também o resultado do apoio, incentivo e colaboração de muitas pessoas, às quais expresso minha mais sincera gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder força, saúde e perseverança para superar os desafios ao longo desta caminhada.

À minha família, especialmente aos meus pais, Mariza e Valmir e minha avó, Maria do Rosário, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem o suporte, carinho e incentivo de vocês, essa conquista não seria possível. Agradeço aos meus irmãos, Manuela, Miguel e Joaquim por serem um dos motivos da minha força e perseverança.

Agradeço também aos meus padrinhos, Lílian e Wander por todo apoio que me deram ao longo da minha trajetória, sou imensamente grata por tudo o que fizeram por mim e por serem parte essencial da minha caminhada.

Ao meu namorado Luciano, por todo o amor, paciência e apoio incondicional ao longo desta jornada. Pelas palavras de incentivo nos momentos de dúvida, pelo carinho nos dias difíceis e por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava das minhas capacidades. Sua presença foi essencial para que eu chegasse até aqui.

À minha orientadora, Tatiana, pela paciência, dedicação e pelas valiosas orientações. Sua expertise e apoio foram essenciais para que eu pudesse aprimorar meus conhecimentos e concluir esta etapa com sucesso.

À minha equipe de Projetos da NEXA, por todo ensinamento e conselho ao longo desta jornada, pela disposição em compartilhar conhecimentos valiosos e pela paciência em esclarecer dúvidas. Agradeço pelo apoio técnico e pelas trocas de experiências que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória, oferecendo palavras de incentivo e motivação. Cada gesto, por menor que tenha sido, teve um impacto significativo na conclusão deste trabalho. Muito obrigada!

## RESUMO

Diante dos recentes desastres ambientais causados pelo rompimento de barragens de rejeitos no Brasil, torna-se essencial explorar métodos alternativos mais seguros para a gestão desses materiais. O presente trabalho tem como objetivo analisar o método de disposição a seco de rejeitos de mineração abordando sobre o processo de filtragem, transporte, empilhamento e compactação dos rejeitos filtrados, além das medidas de monitoramento e gestão ambiental necessárias para garantir a segurança do método. A metodologia adotada baseia-se em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com levantamento e análise de artigos científicos publicados nos últimos cinco anos. Foram utilizadas bases de dados acadêmicas, como o Portal de Periódicos CAPES e o Google Acadêmico, para selecionar estudos relevantes sobre o tema. Os resultados indicam que a disposição a seco de rejeitos apresenta diversas vantagens em relação às barragens convencionais, como a redução do consumo de água, maior estabilidade geotécnica e menor risco de rompimentos catastróficos. No entanto, desafios como o alto custo inicial, a necessidade de infraestrutura específica e a adaptação das mineradoras ao novo modelo ainda representam obstáculos para a ampla adoção da técnica. Conclui-se que a disposição a seco de rejeitos é uma alternativa promissora e mais sustentável para a mineração, alinhando-se às exigências ambientais e de segurança. No entanto, mais pesquisas e regulamentações específicas são necessárias para otimizar o processo e viabilizar sua implementação em larga escala.

**Palavras-chave:** Disposição a Seco. Rejeitos de Mineração. Segurança Ambiental. Geotecnia.

## **ABSTRACT**

Given the recent environmental disasters caused by the failure of tailings dams in Brazil, it has become essential to explore safer alternative methods for managing these materials. This study aims to analyze the dry disposal method for mining tailings, addressing the filtration, transportation, stacking, and compaction processes of filtered tailings, as well as the necessary monitoring and environmental management measures to ensure the method's safety. The adopted methodology is based on a Systematic Literature Review (SLR), involving the collection and analysis of scientific articles published in the last five years. Academic databases such as the CAPES Journals Portal and Google Scholar were used to select relevant studies on the topic. The results indicate that dry tailings disposal offers several advantages over conventional dams, such as reduced water consumption, greater geotechnical stability, and a lower risk of catastrophic failures. However, challenges such as high initial costs, the need for specific infrastructure, and the adaptation of mining companies to the new model still represent obstacles to the widespread adoption of this technique. It is concluded that dry tailings disposal is a promising and more sustainable alternative for mining, aligning with environmental and safety requirements. However, further research and specific regulations are necessary to optimize the process and enable its large-scale implementation.

**Keywords:** Dry disposal. Mining Tailings. Environmental Safety. Geotechnics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Rompimento da barragem em Brumadinho/MG em 2019 .....	11
Figura 2 -	Rompimento de pilha de rejeitos da empresa Jaguar Mining em 2024 .....	12
Figura 3 -	Processo de filtração dos rejeitos .....	24
Figura 4 -	Desenho em 3D do processo de filtração de rejeitos .....	25
Figura 5 -	Tipo de equipamento a ser utilizado em função do tamanho da partícula.....	26
Figura 6 -	Filtro de correia horizontal.....	28
Figura 7 -	Filtro de disco cerâmico.....	28
Figura 8 -	Filtro prensa .....	29
Figura 9 -	Modelo de filtro prensa em 3D .....	29
Figura 10 -	Esquema de transporte de rejeito por caminhão .....	30
Figura 11 -	Transporte do rejeito utilizando pá carregadeira e caminhão basculante .....	31
Figura 12 -	Transporte do rejeito por caminhão .....	32
Figura 13 -	Exemplo prático do uso de transportadora móvel com carro <i>tripper</i> .....	33
Figura 14 -	Tipos de geometria de empilhamento .....	35
Figura 15 -	Exemplo de empilhamento em terreno acidentado.....	36
Figura 16 -	Despejo dos rejeitos filtrados por caminhões .....	36
Figura 17 -	Caminhão despejando os rejeitos na área do depósito.....	37
Figura 18 -	Rejeitos filtrados espalhados por trator.....	38
Figura 19 -	Compactação do rejeito filtrado.....	38
Figura 20 -	Exemplo de armazenamento de rejeitos filtrados no Peru.....	39
Figura 21 -	Exemplo de armazenamento de rejeitos filtrados no Peru.....	40
Figura 22 -	Exemplo de uma vala perimetral .....	41
Figura 23 -	Esquema de gestão de água.....	41
Figura 24 -	Solo granular como cobertura do depósito .....	43

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 –	Número de artigos encontrados e suas respectivas bases de pesquisas e condições empregadas .....	15
Quadro 2 -	Lista de títulos dos artigos selecionados para leitura, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada .....	16
Quadro 3 -	Lista de títulos dos artigos selecionados para revisão bibliográfica, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada .....	18



## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALMG	Assembleia Legislativa de Minas Gerais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
NBR	Norma Brasileira
RSL	Revisão Sistemática de Literatura

## LISTA DE SÍMBOLOS

cm Centímetros

mm Milímetros

% Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVO.....	12
1.2	ESTRUTURA DO TEXTO.....	12
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
3.1	DISPOSIÇÃO A SECO DE RESÍDUOS.....	21
3.2	PROCESSO DE DISPOSIÇÃO A SECO DE RESÍDUOS.....	22
3.2.1	Equipamentos de filtração.....	26
3.2.2	Transporte do rejeito após filtrado.....	30
3.2.3	Geometria do empilhamento.....	34
3.2.4	Deposição dos rejeitos filtrados.....	36
3.3	GESTÃO DE ÁGUAS.....	40
3.4	EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO.....	42
3.5	PLANO DE CONTINGÊNCIA PARA CONDIÇÕES ANORMAIS.....	43
<b>4</b>	<b>CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os rejeitos de mineração são os resíduos gerados em indústrias de beneficiamento de minérios sendo, a maior parte dos processos, realizados por via úmida e, por isso, os rejeitos geralmente se apresentam na forma de polpa (Guimarães, 2011).

O principal método de disposição de rejeito utilizado no Brasil são as barragens (Silva, 2021). “Barragem pode ser definida inicialmente, de uma forma geral, como sendo um elemento estrutural, construída transversalmente à direção de escoamento de um curso d’água, ou não - geralmente de rejeitos, destinada a criação de um reservatório artificial de acumulação de água” (Marangon, 2018, p.1).

Após uma série de acidentes recentes envolvendo barragens de rejeito no Brasil, as normas relacionadas à disposição de rejeitos de mineração vêm sendo modificadas objetivando a descaracterização e descomissionamento de barragens e incentivando essa disposição de forma mais segura, de acordo com Moura *et al.* (2024). A Figura 1 mostra o cenário pós rompimento da Barragem da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, Minas Gerais.

Figura 1 - Rompimento da barragem em Brumadinho/MG em 2019



Fonte: Cruz, 2019.

Dentre as técnicas de disposição de rejeitos, destaca-se o empilhamento à seco, que propõe a disposição do rejeito filtrado em pilhas compactadas, garantindo melhores condições de segurança operacional, ambiental e técnica em comparação com a disposição em barragens.

No entanto, por ser um método recente, as mineradoras enfrentam desafios para sua implantação (Fontes *et al.*, 2024). Em janeiro de 2022, houve um deslocamento de parte da pilha de rejeitos da empresa Jaguar Mining em Conceição do Pará (MG), causando uma avalanche de lama de resíduos minerários. A Figura 2 mostra o deslizamento que ocorreu na pilha.

Figura 2 - Rompimento de pilha de rejeitos da empresa Jaguar Mining em 2024



Fonte: Lambranh, 2025.

Dessa forma, torna-se relevante o conhecimento do método de disposição a seco de resíduos minerários. Com isso, neste trabalho levanta-se a questão: como é feito o processo de um empilhamento de rejeito filtrado?

## 1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem, como objetivo principal descrever a rota de processo de um empilhamento de rejeito filtrado e apontar os principais pontos que devem ser levados em consideração para implantação do projeto.

## 1.2 ESTRUTURA DO TEXTO

O trabalho está dividido em 5 capítulos. No Capítulo 1 é feita uma introdução abordando sobre o tema rejeitos de mineração e sua disposição e, além disso, são apresentados os objetivos e estrutura do texto. O Capítulo 2 aborda sobre a metodologia utilizada para a realização do

trabalho e no Capítulo 3 é feita uma revisão da literatura com base nos materiais selecionados na etapa da metodologia. O Capítulo 4 traz uma análise sobre as informações levantadas no capítulo anterior e apresenta outras informações complementares. Por fim, finaliza-se o trabalho com as considerações finais presentes no Capítulo 5 seguido das referências bibliográficas.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia compreende pesquisa bibliográfica e documental considerando a classificação de Fontelles *et al.* (2009). A pesquisa bibliográfica busca “a coleta de informações a partir de textos, livros, artigos e demais materiais de caráter científico” (Pitanga, 2024, n.p.), já a pesquisa documental visa analisar as informações contidas em documentos, como “jornais, revistas, catálogos, fotografias, atas, etc” (Pitanga, 2024, n.p.).

A pesquisa bibliográfica foi feita pelo método da Revisão Sistemática da Literatura (RSL). De acordo com Galvão e Ricarte (2019), esse tipo de pesquisa bibliográfica segue protocolos rigorosos para entender um amplo conjunto de documentos, focando no que funciona ou não em determinados contextos. Ainda, segundo Galvão e Ricarte (2019), a ênfase deste método recai sobre a reprodutibilidade, detalhando as bases de dados consultadas, as estratégias de busca, os critérios de seleção de artigos e o processo de análise e, além disso, ela reconhece as limitações tanto dos artigos analisados quanto da própria revisão.

Para montar um conjunto de materiais científicos, foi utilizado o portal de periódico CAPES e o Google Acadêmico. No periódico CAPES buscou-se por artigos e publicações recentes que abordam o tema de disposição a seco de resíduos. Para isso, utilizou-se das palavras chaves (descritores) “disposição a seco” e “rejeitos” em português e, em inglês, “*dry stacking*” e “*tailings*”, juntamente do operador booleano “e”. O corte temporal foi de 5 anos (2019 a 2024) visando informações mais atuais sobre o tema e, além disso, foram selecionados apenas artigos revisados por pares e que possuíam acesso aberto. Por meio dessa análise, foram encontrados 18 artigos.

No Google Acadêmico buscou-se por artigos e publicações que também abordassem o tema de empilhamento a seco. Foram utilizadas as mesmas palavras chaves, “disposição a seco” e “rejeitos” em português e, em inglês, “*dry stacking*” e “*tailings*”, juntamente do operador booleano “e”. O corte temporal foi de 5 anos (2019 a 2024), artigos apenas de revisão e, como no Google Acadêmico não é possível filtrar o tipo de acesso, os artigos poderiam ter acesso aberto ou não. Por meio dessa análise, foram encontrados 127 artigos. O Quadro 1 resume a quantidade de artigos encontrados.

Quadro 1 – Número de artigos encontrados e suas respectivas bases de pesquisas e condições empregadas

Base de pesquisa	Condições	Artigos encontrados
Portal Periódico CAPES	-Descritores: “disposição a seco”; “rejeitos”; “dry stacking” e “tailings”  -Revisado por pares  -2019 a 2024	18
Google Acadêmico	-Descritores: “disposição a seco”; “rejeitos”; “dry stacking” e “tailings”  -2019 a 2024	127

Fonte: A autora, 2024.

Para a seleção dos artigos foram analisados simultaneamente o título e o resumo de cada artigo encontrado, deixando somente aqueles que possuem relação direta com o tema. No total foram selecionados 23 trabalhos cujo Autor, Ano, Título, Revista e Base de Pesquisa estão resumidos no Quadro 2.



Quadro 2 - Lista de títulos dos artigos selecionados para leitura, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada

(continua...)

<b>Autor (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Meio</b>	<b>Base de Pesquisa</b>
Carneiro <i>et al.</i> (2023)	Characterization of an Iron Ore Tailing Sample and the Evaluation of Its Representativeness	Geotechnical and Geological Engineering	Capes
Burden e Wilson (2019)	Commingling of Waste Rock and Tailings to Improve “Dry Stack” Performance: Design and Evaluation of Mixtures	Minerals	Capes
Wang <i>et al.</i> (2022)	Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Dry Stack Tailings Disposal Schemes: A Case Study in Northern China	Minerals	Capes
Cacciuttolo e Atencio (2023)	Dry Stacking of Filtered Tailings for Large-Scale Production Rates over 100,000 Metric Tons per Day: Envisioning the Sustainable Future of Mine Tailings Storage Facilities	Minerals	Capes e Google Acadêmico
Dentoni, Grosso e Pinna (2021)	Experimental Evaluation of PM Emission from Red Mud Basins Exposed to Wind Erosion	Minerals	Capes
Popescu, Sarghiuta e Iiev (2019)	Flam Valley TMF Pond, 40 Years of Activity and Still Going	IOP Conference Series	Capes
Santos <i>et al.</i> (2023)	Influence of initial compaction and confining pressure on the hydraulic conductivity of compacted iron ore tailings	E3S Web of Conferences	Capes
Farenzena <i>et al.</i> (2023)	Iron ore tailings stabilization with alternative alkali-activated cement for dry stacking: mechanical and microstructural insights	Canadian Science	Capes

Quadro 2 - Lista de títulos dos artigos selecionados para leitura, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada

(continua...)

<b>Autor (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Meio</b>	<b>Base de Pesquisa</b>
Bruschi <i>et al.</i> (2023)	Mechanical and Microstructural Response of Iron Ore Tailings under Low and High Pressures Considering a Wide Range of Molding Characteristics	Mining	Capes
Silva <i>et al.</i> (2023)	On the behavior of compacted filtered iron ore tailings submitted to high pressures	E3S Web of Conferences	Capes
Vargas e Campomanes (2022)	Practical Experience of Filtered Tailings Technology in Chile and Peru: An Environmentally Friendly Solution	Minerals	Capes e Google Acadêmico
Medina <i>et al.</i> (2024)	Shear response of iron ore tailings under monotonic loadings	E3S Web of Conferences	Capes
Fränkle <i>et al.</i> (2023)	Tailings Filtration: Water Jet Spray Cleaning of a Blinded Iron Ore Filter Cloth	Minerals	Capes
Consoli <i>et al.</i> (2024)	The effect of key parameters on the mechanical response of artificially cemented iron ore tailings for dry stacking purposes	E3S Web of Conferences	Capes
Silva <i>et al.</i> (2024)	Triaxial testing response of compacted iron ore tailings considering a broad spectrum of confining pressures	Elsevier - Soils and Foundations	Capes
Nigro, Silva e Silva (2023)	Controles Operacionais para Filtro Prensa Utilizados para Rejeito de Minério de Ferro	Foco	Capes
Souza <i>et al.</i> (2024)	Co-Disposal Dumps in Brazil: Challenges and Opportunities	Congresso Tailings	Google Acadêmico
Chaponnel (2024)	Innovative product optimisation with the AFP2500 filter: a breakthrough in dewatered tailings solutions by FLSmidth		Google Acadêmico
Williams (2021)	Lessons from Tailings Dam Failures— Where to Go from Here?	Minerals	Google Acadêmico

Quadro 2 - Lista de títulos dos artigos selecionados para leitura, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada

<b>Autor (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Meio</b>	<b>Base de Pesquisa</b>
Lopes, Rodovalho e Hajj (2022)	Setor Minerário Brasileiro e seu Impacto Ambiental: Uma Revisão de Opções Berço-a-berço Aplicada a Resíduos, Estéreis e Rejeitos	Holos	Google Acadêmico
Souza <i>et al.</i> (2023)	Disposição de Rejeito por Empilhamento como Alternativa para Barragens de Montante: Uma Revisão de Literatura	ConReSol	Google Acadêmico
Alvarenga (2023)	Disposição de rejeitos de mineração: Uma Revisão	Universidade Federal de Minas Gerais	Google Acadêmico
Stela, Duarte e Pereira (2020)	Métodos de Disposição dos Rejeitos de Minério de Ferro Alternativos ao Método de Barragens: Uma Revisão	Revista Brasileira de Processos Químicos	Google Acadêmico

Fonte: A autora, 2024.

Após a leitura dos materiais selecionados, conclui-se que apenas 14 possuíam algum conteúdo de interesse para este trabalho. O Quadro 3 mostra os trabalhos estudados para revisão da literatura.

Quadro 3 - Lista de títulos dos artigos selecionados para revisão bibliográfica, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada

(continua...)

<b>Autor (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Meio</b>	<b>Base de Pesquisa</b>
Carneiro <i>et al.</i> (2023)	Characterization of an Iron Ore Tailing Sample and the Evaluation of Its Representativeness	Geotechnical and Geological Engineering	Capes
Burden e Wilson (2019)	Commingling of Waste Rock and Tailings to Improve “Dry Stack” Performance: Design and Evaluation of Mixtures	Minerals	Capes
Wang <i>et al.</i> (2022)	Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Dry Stack Tailings Disposal Schemes: A Case Study in Northern China	Minerals	Capes

Quadro 3 - Lista de títulos dos artigos selecionados para revisão bibliográfica, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada

(continua...)

<b>Autor (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Meio</b>	<b>Base de Pesquisa</b>
Cacciuttolo e Atencio (2023)	Dry Stacking of Filtered Tailings for Large-Scale Production Rates over 100,000 Metric Tons per Day: Envisioning the Sustainable Future of Mine Tailings Storage Facilities	Minerals	Capes e Google Acadêmico
Farenzena <i>et al.</i> (2023)	Iron ore tailings stabilization with alternative alkali-activated cement for dry stacking: mechanical and microstructural insights	Canadian Science	Capes
Bruschi <i>et al.</i> (2023)	Mechanical and Microstructural Response of Iron Ore Tailings under Low and High Pressures Considering a Wide Range of Molding Characteristics	Mining	Capes
Silva <i>et al.</i> (2023)	On the behavior of compacted filtered iron ore tailings submitted to high pressures	E3S Web of Conferences	Capes
Vargas e Campomanes (2022)	Practical Experience of Filtered Tailings Technology in Chile and Peru: An Environmentally Friendly Solution	Minerals	Capes e Google Acadêmico
Medina <i>et al.</i> (2024)	Shear response of iron ore tailings under monotonic loadings	E3S Web of Conferences	Capes
Fränkle <i>et al.</i> (2023)	Tailings Filtration: Water Jet Spray Cleaning of a Blinded Iron Ore Filter Cloth	Minerals	Capes
Silva <i>et al.</i> (2024)	Triaxial testing response of compacted iron ore tailings considering a broad spectrum of confining pressures	Elsevier - Soils and Foundations	Capes
Nigro, Silva e Silva (2023)	Controles Operacionais para Filtro Prensa Utilizados para Rejeito de Minério de Ferro	Foco	Capes

Quadro 3 - Lista de títulos dos artigos selecionados para revisão bibliográfica, bem como seus autores, o meio de publicação e a base de pesquisa utilizada

<b>Autor (ano)</b>	<b>Título</b>	<b>Meio</b>	<b>Base de Pesquisa</b>
Souza <i>et al.</i> (2023)	Disposição de Rejeito por Empilhamento como Alternativa para Barragens de Montante: Uma Revisão de Literatura	ConReSol	Google Acadêmico
Stela, Duarte e Pereira (2020)	Métodos de Disposição dos Rejeitos de Minério de Ferro Alternativos ao Método de Barragens: Uma Revisão	Revista Brasileira de Processos Químicos	Google Acadêmico

Fonte: A autora, 2024.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 DISPOSIÇÃO A SECO DE RESÍDUOS

O método de disposição a seco de resíduos “consiste em filtrar os rejeitos para reduzir o teor de umidade e dispor este material de forma compactada para produzir uma pilha estável” (Lupo; Hall, 2011; Davies 2011 *apud* Silva *et al.*, 2023, p.1). Oliveira *et al.* (2023, p.2834) descrevem a alternativa como sendo “uma forma estável de armazenar rejeitos em um estado sólido denso e insaturado”. Outros autores dizem que o método “consiste no empilhamento de rejeitos secos compactados, formando pilhas de centenas de metros” (Silva *et al.*, 2024, p. 649). Cacciuttolo e Campomanes (2022, p.3) dizem que ““essa técnica produz uma "torta" não saturada, permitindo o armazenamento desse material sem a necessidade de gerenciar grandes lagoas de rejeitos em lama”.

Já para Burden e Wilson (2023, p.1), o empilhamento a seco é “a deposição de rejeitos em um monte auto-sustentável que tem o potencial de eliminar ou reduzir a necessidade de uma barragem”. De acordo com Mendes *et al.* (2023, p.2 *apud* Nery *et al.*, 2014), “o método de disposição empilhamento a seco ou *dry stack* consiste na disposição de resíduos em camadas com lançamentos que se alternam o que possibilita ciclos de lançamento e secagem”. Ainda segundo IBRAM (2016 *apud* Mendes *et al.*, 2023), para a armazenagem de resíduos na forma seca são utilizados filtros para a drenagem da água dos rejeitos.

Como vantagens do método de disposição a seco tem-se a diminuição do consumo de água e a não necessidade de uso de barragens (Cacciuttolo; Atencio, 2023). Para os autores Mendes *et al.* (2023, p.2), “essa metodologia dispensa o uso de barragens de contenção” e Silva *et al.* (2024) dizem que a disposição a seco pode ser utilizada no processo de descaracterização de barragens.

De acordo com Silva *et al.* (2023, p.1), o método possui outras vantagens como “o melhor uso do relevo e gestão da água”. Oldecop e Rodari (2021 *apud* Silva *et al.*, 2023) dizem que o processo permite a recuperação de grande quantidade de água que posteriormente poderia ser utilizada em outros processos, como extração e beneficiamento de minérios.

Esse tipo de disposição é mais seguro pelo fato do resíduo final obtido apresentar baixa quantidade de água (Stela; Duarte; Pereira, 2020). Além disso, segundo Yang *et al.* (2022, p.2):

Devido à alta taxa de recuperação de águas residuais, baixo teor de água nos rejeitos, alto grau de consolidação e propriedades mecânicas mais estáveis da pilha, o empilhamento a seco é considerado como um fornecedor de melhor segurança e desempenho ambiental.

“Métodos de desidratação de rejeitos vem sendo implementados pelas indústrias de mineração visando ganhar a confiança da sociedade e garantir mais sustentabilidade nos projetos” (Cacciuttolo; Valenzueladiz, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.4) e complementando:

O empilhamento a seco de rejeitos de mineração filtrados é reconhecido mundialmente como uma das soluções mais aceitáveis pelas comunidades, proporcionando segurança do ponto de vista da estabilidade física e sendo ecologicamente correto (Cacciuttolo; Valenzueladiz, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.4).

Li *et al.* (2016, *apud* Silva *et al.*, 2024, p.649) dizem que o “empilhamento de rejeitos secos (filtrados) é visto agora como uma solução mais segura quando comparado aos rejeitos depositados hidraulicamente com consistência de lama”. Segundo Silva *et al.* (2023), a disposição de rejeitos filtrados apresenta uma alternativa mais segura de armazenamento de resíduos pois têm os riscos de liquefação diminuídos e, além disso, como a água é retirada do resíduo antes da disposição, a disposição fica mais estável e menos vulnerável a deslizamentos e colapsos (Mendes *et al.*, 2023).

### 3.2 PROCESSO DE DISPOSIÇÃO A SECO DE RESÍDUOS

Segundo Cacciuto e Atencio (2023), as etapas de disposição a seco de resíduos são:

- (i) Desaguamento dos rejeitos de mina para obter uma torta,
- (ii) Manuseio e transporte dos rejeitos filtrados,
- (iii) Colocação, deposição e compactação dos rejeitos, e
- (iv) Monitoramento do depósito,

No método de empilhamento a seco, antes de ser empilhado, o rejeito passa por “uma série de processos, como classificação por ciclone, espessamento, prensagem em filtro e desidratação via peneira vibratória” (Gomes *et al.*, 2016 *apud* Wang *et al.*, 2022, p.3).

De acordo com Burden e Wilson (2023), antes de serem filtrados, os rejeitos geralmente passam por um espessador convencional. A função da filtração é separar sólidos e líquidos. O material

é colocado em um meio poroso e, por meio de um gradiente de pressão, o líquido é separado do material sólido resultando em uma “torta densificada” de resíduos.

No caso do rejeito de minério de ferro, segundo Wang *et al.* (2022), o processo começa com o bombeamento da polpa com alto teor de água para uma unidade de ciclone onde a polpa com partículas grossas é tratada e descarregada na saída inferior, enquanto os rejeitos de partículas finas saem superiormente por meio da pressão negativa centrífuga do ciclone. Seguindo o processo:

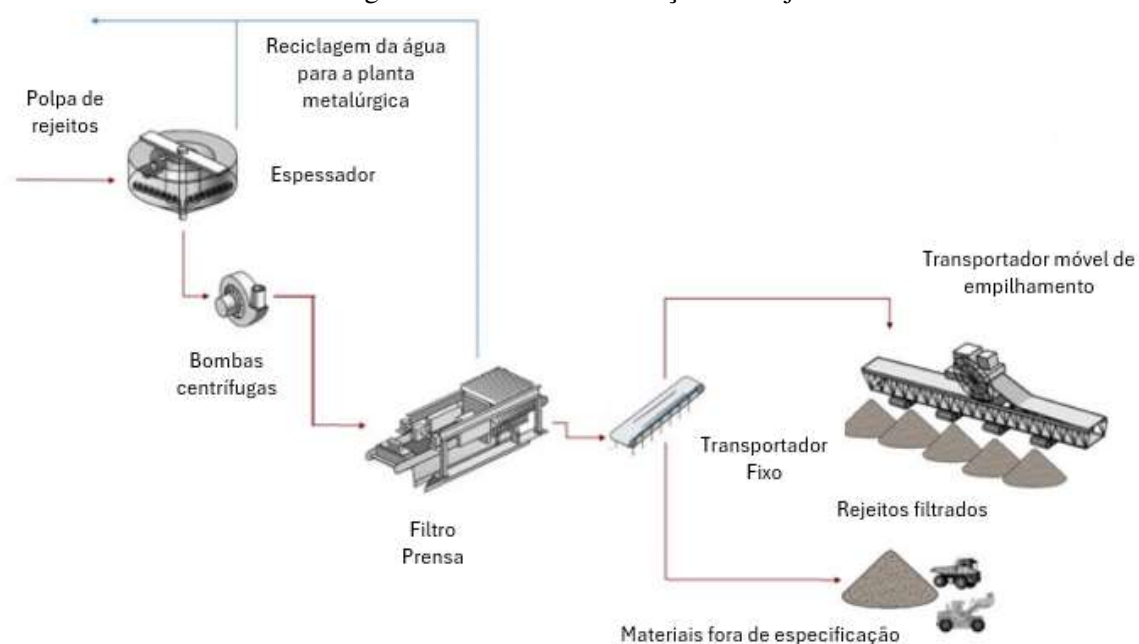
A polpa de alta concentração de partículas grossas é então bombeada para uma peneira de desaguamento vibratória de alta frequência, formando uma camada filtrante sólida com muito baixo teor de água para descarte. Enquanto os rejeitos de partículas finas do transbordamento do ciclone entram no espessador para assentamento e espessamento, o fluxo inferior é tratado por uma prensa filtrante e, em seguida, submetido ao tratamento de pilha seca (Wang *et al.*, 2022, p.3).

Após a filtração, a torta de resíduos resultante é colocado para secar até atingir o teor de umidade ideal para depois ser compactado na pilha (Burden; Wilson, 2023). A eficiência desse processo dependerá das características do rejeito a ser trabalhado, sendo que “baixo teor de finos, baixo teor de argila e alto peso específico são preferíveis para a filtração” (Burden; Wilson, 2023, p.3).

A Figura 3 mostra o processo de filtração dos rejeitos (Cacciuttolo; Atencio, 2023). Primeiro a polpa é desaguada e espessada e, após isso, o material espessado na parte inferior é bombeado por meio de bombas centrífugas para o filtro prensa.



Figura 3 - Processo de filtração dos rejeitos



Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Atencio, 2023.

“Em seguida, a torta de rejeitos de mina filtrados é transferida para os alimentadores de correia de rejeitos de mina e, depois, para as correias transportadoras fixas de rejeitos de mina em série, antes de ser descarregado no sistema de deposição de rejeitos de mina” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.4).

Wang *et al.* (2022) dizem que o resíduo filtrado geralmente é levado por caminhões ou correias transportadoras, o que depende de fatores como distância de transporte e características do terreno e, além disso, podem ser necessários outros tipos de máquinas para manutenção da pilha durante a operação. Os autores também dizem que o rejeito “seco” é descarregado por meio de correias transportadoras ou transportado por caminhões e “estocados em instalações de armazenamento de rejeitos” (Wang *et al.*, 2022, p.3). Ainda, segundo os mesmos autores, o material é descarregado com um baixo teor de umidade (<25%).

O sistema de deposição de rejeitos de mina consiste em correias transportadoras móveis e deslizantes e um sistema de correias empilhadoras que serão usados para depositar os rejeitos de mina filtrados atrás de grandes contrafortes pré-formados, construídos com próprio material da mina, na área da instalação de armazenamento (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.5).

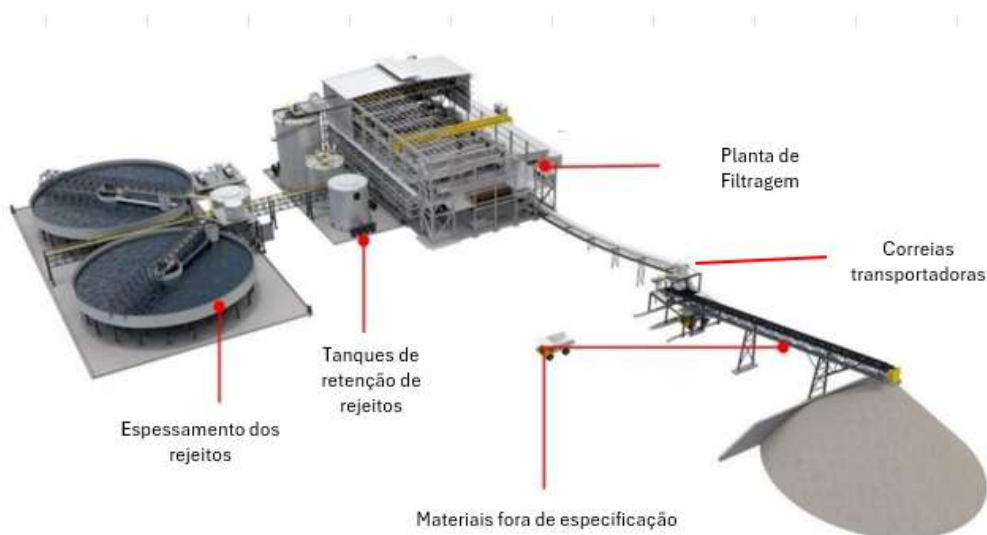
Cacciuttolo e Atencio (2023, p.5) destacam que “A variabilidade do minério e a taxa de produção resultante dos rejeitos de mina podem gerar condições operacionais adversas na planta de filtragem” e, com isso, deve ser incluída uma instalação temporária com uma capacidade de um a três dias para armazenar rejeitos fora de especificação para se ter maior flexibilidade na operação.

Além disso, Cacciuttolo e Atencio (2023) dizem que, devem ser previstas instalações que recebam as polpas fora de especificação para empilhamento para depois serem reprocessadas na planta de filtragem. “A instalação de empilhamento seco de rejeitos de mina filtrados consiste em duas áreas separadas: a área de empilhamento para operação normal e a área de empilhamento para condições adversas” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.15).

Também são necessários tanques ou lagoas adicionais para gerenciar a água recuperada no processo de filtração dos rejeitos (Cacciuttolo; Atencio, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023).

A Figura 4 representa um exemplo de um desenho em 3D do processo de filtração de rejeitos onde o rejeito passa por espessadores e são direcionados para a planta de filtragem, onde são filtrados e transportados por correias.

Figura 4 - Desenho em 3D do processo de filtração de rejeitos

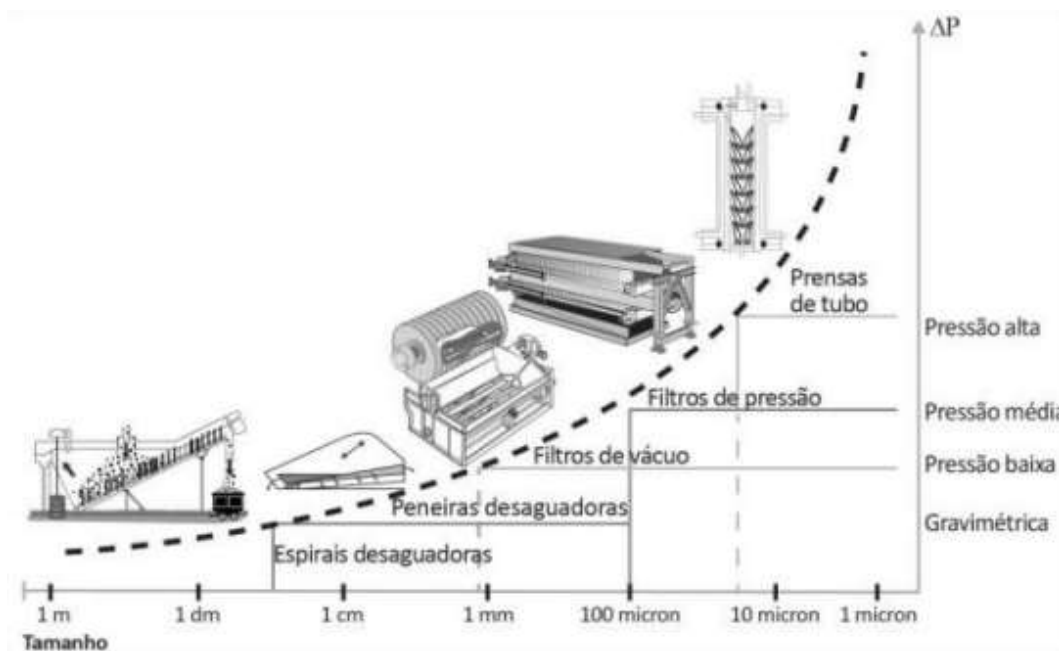


Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Atencio, 2023.

### 3.2.1 Equipamentos de filtração

Para Burden e Wilson (2023), o gradiente de pressão dos equipamentos filtrantes pode ser aplicado por vácuo, ação mecânica de compressão ou via bomba de alimentação. A Figura 5 mostra o tipo de equipamento a ser utilizado em função do tamanho da partícula (Burden; Wilson, 2023).

Figura 5 - Tipo de equipamento a ser utilizado na filtração em função do tamanho da partícula



Fonte: Burden; Wilson, 2023

De acordo com Nigro *et al.* (2023), para o processo de filtração dos rejeitos existem diversos equipamentos e a melhor escolha dependerá de fatores como a granulometria do rejeito, o investimento e área disponíveis, a porcentagem de sólidos e a umidade necessárias no resultado final da filtração. Segundo Nigro *et al.* (2023, p.5), a granulometria do rejeito a ser filtrado dependerá “do minério em questão e do processo de beneficiamento anterior adotado”.

De acordo com Cacciuttolo e Atencio (2023), para alcançar a umidade especificada nos rejeitos, devem ser utilizados equipamentos de filtração em escala industrial. Furnell *et al.* (2022, *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.5) destacam os filtros cerâmicos a vácuo, os filtros de banda a vácuo e os filtros a pressão (prensas filtrantes). Guimarães (2011 *apud* Stela *et al.* 2020, p.39) consideram que, com o uso de filtros, é possível “obter tortas com umidade aproximadamente entre 6% e 12% para posterior disposição do rejeito em pilhas, diminuindo então seu impacto ambiental”.

“Os valores de teor de umidade alcançados por cada filtro para a mesma taxa de filtração dependem do princípio de operação e das características do material de rejeito de mina a ser filtrado” (Liu *et al.*, 2019 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.6). “Para um mesmo rejeito e mesma taxa de filtração, os filtros à vácuo resultam em um maior teor de umidade se comparado aos filtros de pressão” (Dimitriadis *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.6).

Para Cacciuttolo e Atencio (2023), as características da torta, como o teor de umidade, dependem significativamente das características do rejeito a ser trabalhado, como a distribuição do tamanho das partículas e peso específico. Por exemplo, no caso de rejeitos de mina de cobre, para se atingir a umidade necessária para compactação, é recomendado o uso de filtro prensa, pois, esse tipo de rejeito possui grande quantidade de finos (Cacciuttolo *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023).

“O equipamento de filtração é muito sensível ao alto teor de argila presente nos rejeitos de mina” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.6), com isso, as taxas de filtração necessárias para se obter a umidade especificada para a melhor compactação aumentam quando existe uma quantidade considerável de partículas menores que 5 micrôns (0,005mm) (Cacciuttolo *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023). Os autores Nigro *et al.*, (2023, p.5) alertam que “A granulometria da polpa afeta diretamente a eficiência da filtragem, pois partículas maiores podem formar um bolo mais permeável, enquanto partículas finas podem obstruir o meio filtrante”.

Cacciuttolo e Campomanes (2022), dividem os equipamentos de filtração em duas categorias: filtros a vácuo e filtros a pressão.

Os filtros a vácuo são indicados para rejeitos com maior quantidade de partículas grossas e com pouco material argiloso, podendo ser filtrados com baixo consumo de floculantes e como filtros à vácuo Cacciuttolo e Campomanes (2022) citam: filtros de correia horizontal e filtros de disco cerâmico.

O filtro de correia horizontal, de acordo com Cacciuttolo e Campomanes (2022, p.3), funciona da seguinte forma: “Uma correia de tecido filtrante recebe os rejeitos e, através da pressão de sucção a vácuo, o filtrado (água) é extraído, e uma torta de rejeitos é formada”. A Figura 6 é um exemplo de equipamento de filtro de correia horizontal.

Figura 6 - Filtro de correia horizontal



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

O filtro de disco cerâmico, segundo Cacciuttolo e Campomanes (2022, p.3), funciona da seguinte forma: “Um disco cerâmico com estrutura de poros microscópicos gira sobre um tanque com rejeitos e, através da pressão de sucção a vácuo, o filtrado (água) é extraído”. A Figura 7 é um exemplo de equipamento de filtro de disco cerâmico.

Figura 7 - Filtro de disco cerâmico



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Os filtros de pressão são indicados para os rejeitos com uma distribuição granulométrica mais fina e que exigem uma capacidade maior de processamento (Cacciuttolo; Campomanes, 2022). A Figura 8 é um exemplo de um filtro prensa.

Figura 8 - Filtro prensa



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Fränkle *et al.* (2023) dizem que, geralmente, utiliza-se filtros de placas recuadas (filtros prensa) com mídias plásticas de filtragem para a filtração dos rejeitos. “Esses tipos de filtros desidratam as polpas com partículas muito pequenas que não poderiam ser filtradas à vácuo” (Micronics, 2020 *apud* Fränkle *et al.*, 2023, p.1).

Nigro *et al.* (2023, p.7) informam que “geralmente, os filtros prensa são capazes de produzir polpas com um percentual de sólidos entre 20% e 60%”. Os autores Nigro *et al.*, (2023, p.5) alertam que “A granulometria da polpa afeta diretamente a eficiência da filtragem, pois partículas maiores podem formar um bolo mais permeável, enquanto partículas finas podem obstruir o meio filtrante”. A Figura 9 ilustra um filtro prensa.

Figura 9 – Modelo de filtro prensa em 3D



Fonte: Nigro *et al.*, 2023

Nigro *et al.* (2023, p.5) destacam que “A eficiência e o desempenho deste equipamento estão intimamente ligados à correta operação e controle dos seus parâmetros operacionais”. Com relação à vida útil, as mídias de filtragem possuem vida útil de milhares de ciclos de filtragem e, após isso, precisam ser trocadas devido ao desgaste ou entupimento (Wisdom, 2019 *apud* Fränkle *et al.*, 2023).

O entupimento é um efeito colateral indesejado e onipresente durante a filtragem do rejeito usando mídias de filtragem, que descreve a aderência permanente de partículas dentro de um pano, reduzindo sua permeabilidade e aumentando a queda de pressão, referida como resistência ao fluxo da mídia de filtragem (Rushton, 1970 e Buchwald *et al.*, 2022 *apud* Fränkle *et al.*, 2023, p.2).

### 3.2.2 Transporte do rejeito após filtrado

Wang *et al.* (2022) dizem que o resíduo filtrado geralmente é levado por caminhões basculante ou correias transportadoras.

No caso de transporte por caminhão, os rejeitos filtrados são descarregados da planta de filtragem e acumulados em um estoque temporário de onde os caminhões são carregados por meio de pás carregadeiras e enviados para o depósito de rejeitos (Caldwell; Crystal, 2013 *apud* Cacciuttolo; Campomanes, 2022). As figuras 10 e 11 ilustram esse processo.

Figura 10 – Esquema de transporte de rejeito por caminhão



Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Figura 11 - Transporte do rejeito utilizando pá carregadeira e caminhão basculante



Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Geralmente utiliza-se caminhões para transporte em operações com baixa produção e baixa tecnologia de filtragem, além de quando o depósito dos rejeitos está próximo à planta de filtragem (Cacciuttolo; Campomanes, 2022). A Figura 12 mostra um exemplo de transporte dos rejeitos por caminhão.



Figura 12 - Transporte do rejeito por caminhão



Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

No caso de transporte por correia, os rejeitos filtrados são descarregados da planta de filtragem para uma correia transportadora fixa que os envia para o depósito. No depósito a correia transportadora transfere os rejeitos para uma correia transportadora móvel que irá dispor os rejeitos na área do depósito (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Os principais sistemas de correia típicos usados para transportar rejeitos filtrados são (Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.6):

- Correias transportadoras móveis e empilhadores radiais.
- Correia transportadora móvel de empilhamento com braço *tripper* translacional;

De acordo com Cacciuttolo e Atencio (2023), tem-se os seguintes equipamentos mecânicos recomendados para o transporte de rejeitos filtrados: Correia transportadora intermediária fixa (correia transportadora de transferência); Calha de descarga (incluindo revestimento); Correia transportadora fixa de distribuição; Calha de descarga (incluindo revestimento); e, Correia transportadora móvel com carro *tripper*.

A escolha do equipamento deve considerar (Tessier *et al.*, 2007 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.10):

- Minimizar o tempo de inatividade da empilhadeira durante as trocas entre camadas e varreduras.
- Manter as taxas de progressão da empilhadeira dentro das limitações práticas.
- Maximizar a secagem evaporativa dos rejeitos de mina filtrados empilhados.
- Minimizar os custos da empilhadeira e das correias transportadoras.
- O equipamento deve ser mecanicamente robusto para minimizar o tempo de inatividade não planejado.
- Empilhar o material de forma que atenda às considerações geotécnicas, incluindo as distâncias de recuo do equipamento.

“Durante a operação, o número de correias transportadoras necessárias depende da localização final de deposição dos rejeitos de mina filtrados em relação à posição da correia transportadora deslizante e do *tripper* móvel” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.11).

A tecnologia de correias transportadoras móveis de empilhamento pode garantir uma operação suave, eliminando erros do operador e reduzindo o trabalho do trator de esteira. Ela calcula o empilhamento preciso até uma altura de referência com precisão de dados GPS de 2 cm” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.11).

A Figura 13 apresenta um exemplo da prática do uso de transportadora móvel com carro *tripper* para descarte de rejeitos filtrados de mina na Mina La Coipa, Chile (Cacciuttolo; Atencio, 2023).

Figura 13 - Exemplo prático do uso de transportadora móvel com carro *tripper*



Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Atencio, 2023.

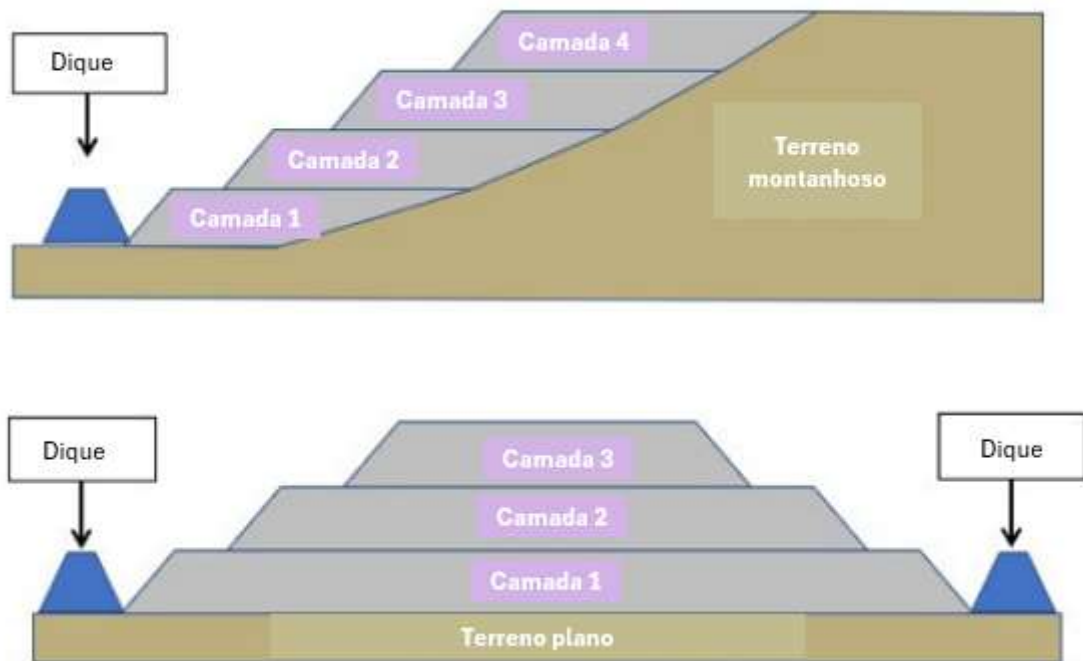
### 3.2.3 Geometria do empilhamento

O principal fator que irá determinar a configuração geométrica da pilha de rejeitos secos é a topografia do local de armazenamento do material (Cacciuttolo; Atencio, 2023). Com isso, “a geometria do empilhamento seco será diferente considerando terrenos planos e terrenos montanhosos” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.13). A ideia principal do empilhamento a seco é sobrepor camadas compactadas formando plataformas (Wang *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023).

No caso de relevos acidentados, próximos de encostas, o empilhamento é feito de baixo pra cima, apoiando-se nas encostas (Furnel *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023). No caso de locais planos, a deposição é feita de baixo pra cima, compactando uma camada sobre a outra, sucessivamente (Gomes *et al.*, 2016 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023).

“A zona de empilhamento seco em um terreno plano é limitada pelas instalações mineiras ao redor” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.11). Este tipo de empilhamento é relativamente fácil e os rejeitos são empilhados em camadas finas, geralmente 30 cm e, à medida que as camadas são compactadas, a superfície de deposição do empilhamento diminui (Cacciuttolo; Atencio, 2023). A Figura 14 mostra os dois casos citados, um empilhamento em uma topografia acidentada e outra plana.

Figura 14 - Tipos de geometria de empilhamento



Fonte: Adaptado de Cacciuttolo; Atencio, 2023.

A altura das plataformas dependerá da inclinação do empilhamento adotada no momento dos cálculos de estabilidade física da disposição do material (Cacciuttolo; Atencio, 2023). “Os valores típicos conservadores para esses parâmetros, para a altura das plataformas, variam de 5 a 10 metros, e as inclinações locais são equivalentes a  $H:V = 3,0:1,0$ ” (Cacciuttolo *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.13).

Além disso, “outro aspecto importante na geometria do empilhamento seco é a colocação de bermas em cada plataforma, que têm a função de servir como área de trânsito e instalação de instrumentação geotécnica, como piezômetros ou inclinômetros” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.13). Ainda para Cacciuttolo; Atencio (2023), uma faixa comum de largura de bermas varia entre 2 e 5 metros.

Também,

é recomendado instalar pequenos diques na parte inferior do empilhamento seco de rejeitos de mina filtrados para conter qualquer eventual derramamento de rejeitos de mina ou água da chuva que tenha entrado em contato com a instalação de armazenamento de rejeitos (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.13).

O volume de rejeitos a serem empilhados dependerá da quantidade de rejeitos que a mina demanda ser armazenado durante sua vida útil (Cacciuttolo; Atencio, 2023). Na Figura 15 tem-se um exemplo de empilhamento a seco em um terreno acidentado.

Figura 15 - Exemplo de empilhamento em terreno acidentado



Fonte: Cacciuttolo; Atencio, 2023.

#### 3.2.4 Deposição dos rejeitos filtrados

Os rejeitos filtrados são depositados em montes por caminhões ou por correias transportadoras com carro *tripper* e espalhados por tratores ou motoniveladoras em uma camada solta de aproximadamente 30 cm (Cacciuttolo; Campomanes, 2022). Além disso, nesse momento os rejeitos possuem uma umidade típica abaixo de 20 % (Cacciuttolo; Campomanes, 2022). As figuras 16 e 17 mostram os rejeitos filtrados sendo despejados na área do depósito (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Figura 16 - Despejo dos rejeitos filtrados por caminhões



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Figura 17 – Caminhão despejando os rejeitos na área do depósito



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Segundo Cacciuttolo e Atencio (2023), para espalhar os rejeitos filtrados utiliza-se um trator de esteira e, além disso, ele pode ajudar no processo de secagem do material permitindo a aeração. “A desidratação dos rejeitos de mina filtrados por secagem torna-se viável se houver baixo índice de precipitação ou ausência de chuvas na zona da mina” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.15). “A taxa de produção de rejeitos de mina filtrados e o tempo de secagem são parâmetros-chave a serem considerados na avaliação do tamanho e da disponibilidade das áreas de secagem” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.15).

A secagem é um processo importante, “O efeito do sol, vento e a ajuda de máquinas de movimentação de terra permitem que os rejeitos filtrados sequem e alcancem altas densidades de compactação” (Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.11). Cacciuttolo e Campomanes (2022) dizem que o tempo de secagem dependerá da umidade que os rejeitos filtrados estão e do clima e, além disso, “A secagem precisa alcançar um valor de densidade próximo ao conteúdo de umidade ótimo” (Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.11). A Figura 18 mostra os rejeitos sendo espalhados por um trator de esteira (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Figura 18 - Rejeitos filtrados espalhados por trator



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

Após

Após a secagem do material, a compactação pode ser realizada com passagens de compactador vibratório de tambor liso, como mostra a Figura 19 (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Recomenda-se a realização de testes de compactação em campo para determinar o número ideal de passagens de compactação a fim de atingir a densidade correspondente a 95% do Padrão Proctor (ASTM D698), garantindo, assim, a capacidade de suporte adequada para a trafegabilidade do equipamento (ASTM, 2021 *apud* Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.12).

Figura 19 - Compactação do rejeito filtrado



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

“O empilhamento seco de rejeitos de mina filtrados parcialmente saturados deve, frequentemente, ser estabilizado por meio da inclusão de zonas estruturais externas para melhorar a estabilidade geral do perímetro (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.17)”. Bermas periféricas podem ser construídas com material estéril da mina ou materiais de área de empréstimo visando maior estabilidade do empilhamento (Cacciuttolo; Atencio, 2023).

Além disso, “os rejeitos de mina filtrados devem ser bem drenados e compactados para minimizar o potencial de liquefação devido a condições de carga estática e/ou sísmica, a fim de manter a estabilidade estrutural” (Li *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.17), visto que cargas estáticas ou sísmicas podem induzir o empilhamento ao processo de liquefação, caso estejam em condições de alta saturação (Cacciuttolo; Atencio, 2023 *apud* Ledesma *et al.*, 2022). Os autores concluem que “A disposição de rejeitos filtrados compactados exige que os rejeitos de mina apresentem a umidade ideal para compactação” (Sepúlved *et al.*, 2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.5).

As figuras 20 e 21 mostram dois exemplos reais de armazenamentos de rejeitos filtrados (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

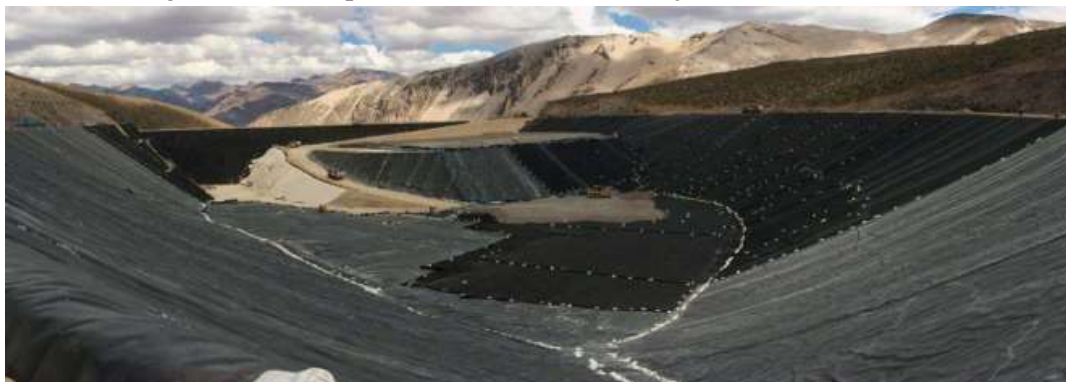
Figura 20 - Exemplo de armazenamento de rejeitos filtrados no Peru



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.



Figura 21 - Exemplo de armazenamento de rejeitos filtrados no Peru



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

### 3.3 GESTÃO DE ÁGUAS

É necessário haver um gerenciamento das águas nas fases de construção, operação e fechamento para garantir uma estrutura estável. Isso significa abordar o gerenciamento: da água natural (decorrente da precipitação e do escoamento) e, da água excedente do processo (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Para gerenciamento da água, Tuomela *et al.* (2022 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023) listam algumas estruturas de drenagem, tais como: Sistemas de drenagem basal, Lagoas de coleta de percolação e Canais periféricos.

As **lagoas de coleta e percolação** são diques localizados a jusante do depósito de rejeitos filtrados com o objetivo de conter possíveis vazamentos vindos do empilhamento, como em períodos de chuvas fortes (Cacciuttolo; Campomanes, 2022) e, de acordo com Cacciuttolo e Atencio (2023), as dimensões dessas lagoas são dependentes do local, clima e etc.

O **sistema de drenagem basal** consiste em um sistema de drenagem com o objetivo de recolher possíveis infiltrações advindas do empilhamento. É um sistema formado por uma trincheira escavada com algum material filtrante, como geotêxtil não tecido ou cascalho (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Já os **canais perimetrais** são valas perimetrais (uma para a margem direita e outra para a margem esquerda) com o objetivo de captar águas de escoamento e impedir o contato com os rejeitos filtrados (Cacciuttolo; Campomanes, 2022). A Figura 22 mostra o exemplo de uma vala perimetral.

Figura 22 - Exemplo de uma vala perimetral

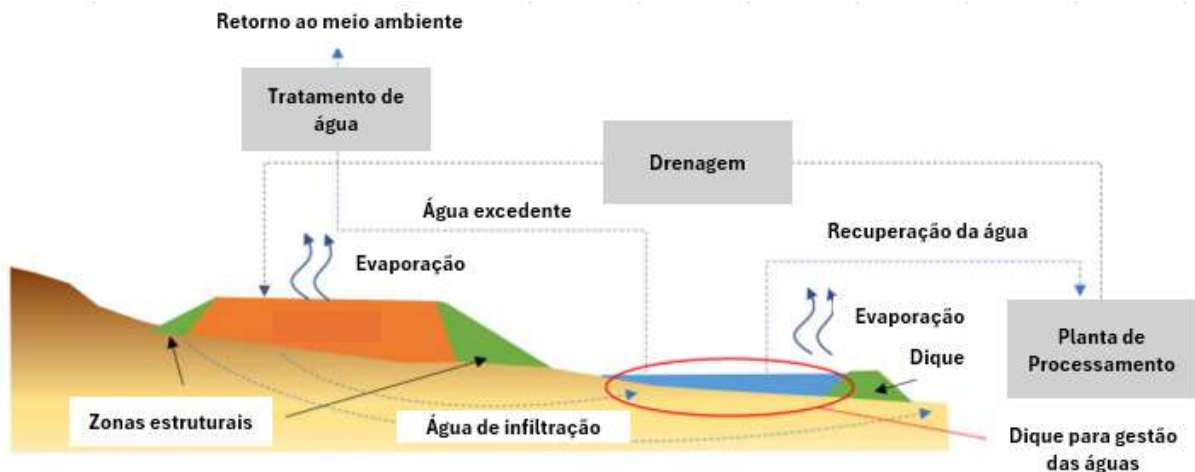


Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

“Essas infraestruturas são de extrema importância, especialmente hoje em dia, em um cenário de incerteza devido à ameaça das mudanças climáticas” (Labonté-Raymond *et al.*, 2020 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.18).

Ressalta-se que toda água que entrar em contato com os rejeitos do empilhamento deve ser coletada e impedida de entrar em contato com o meio ambiente. A água que transborda no processo é tratada e retorna para a planta de processamento, sendo reciclada (Wang *et al.*, 2022). Na Figura 23 é mostrado um esquema da gestão da água (Cacciuttolo; Atencio, 2023).

Figura 23 - Esquema de gestão de água



Fonte: Cacciuttolo; Atencio, 2023.

### 3.4 EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO

Outro aspecto importante é em relação ao controle da emissão do material particulado durante as operações de empilhamento (Cacciuttolo; Atencio, 2023).

A literatura mostra que, ao não controlar adequadamente a emissão de material particulado nas instalações de armazenamento de rejeitos de mineração, um impacto ambiental negativo pode ser gerado, o que pode ser significativo para as comunidades vizinhas e a biodiversidade da área (Zanetta-Colombo *et al.*, 2022 e Mian *et al.*, 2003 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.20).

De acordo com Cacciuttolo *et al.* (2022, p.20 *apud* Cacciuttolo; Atencio, 2023), muralhas construídas com material de rejeito de mina podem ser utilizadas para “fragmentar o fluxo de ar e reduzir a exposição de grandes áreas de rejeitos de mina filtrados a condições de vento”, fazendo com que a poeira se torne menos suspensa no ar.

Além disso, a utilização de equipamentos como tratores, *tripper* e correias transportadoras móveis reduzem a necessidade de veículos com rodas operarem os rejeitos filtrados, diminuindo também a poeira (Cacciuttolo; Atencio, 2023).

Há também outros controles de contingência como (Cacciuttolo; Atencio, 2023):

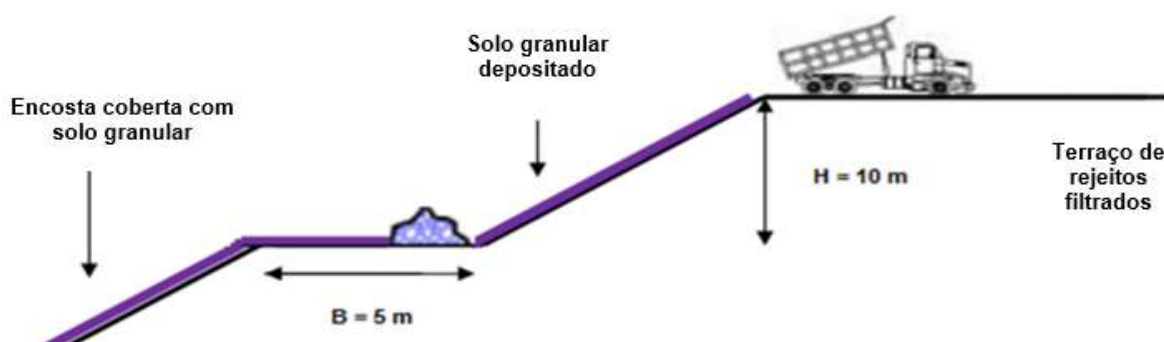
- “Aplicação de um material aglutinante. Este material liga as partículas na superfície dos rejeitos de mina para evitar que as partículas se tornem suspensas no ar” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.21)”.
- “Aplicação de água para suprimir a poeira. Como a conservação da água é uma prioridade muito alta, este é o controle físico menos favorável disponível” (Cacciuttolo; Atencio, 2023, p.21).

“O controle de emissões de poeira desempenhará um papel importante, pois um bom projeto e a implementação adequada fornecerão o principal mecanismo de controle da poeira, de acordo com os requisitos regulatórios de qualidade do ar” (Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.12). Cacciuttolo *et al.* (2014 *apud* Cacciuttolo; Campomanes, 2022) dizem que algumas das alternativas de controle são:

- Cobertura do solo;
- Cobertura com solo superior/revegetação;
- Material aglutinante;
- Aglomeração química.

Além disso, quando for realizado o fechamento da estrutura, essas alternativas ajudam a diminuir os impactos ambientais e promovem uma recuperação mais eficaz do solo (Cacciuttolo; Campomanes, 2022). Na Figura 24 é mostrado um solo granular como cobertura do depósito que, além de diminuir a emissão de poeira, também servirá para diminuir a erosão causada pelo escoamento da água e criará uma superfície de solo adequada para futura reabilitação da área (Davies, 2011; Caldwell; Crystal, 2015; Cacciuttolo *et al.*, 2014 *apud* Cacciuttolo; Campomanes, 2022).

Figura 24 - Solo granular como cobertura do depósito



Fonte: Cacciuttolo; Campomanes, 2022.

### 3.5 PLANO DE CONTINGÊNCIA PARA CONDIÇÕES ANORMAIS

É necessário a elaboração de um Manual de Operação, Manutenção e Monitoramento para garantir os procedimentos adequados e para fornecer um plano de emergência e resposta em casos de condições anormais (Cacciuttolo; Campomanes, 2022; Cacciuttolo; Holgado, 2015; Davies; Veillette, 2007 *apud* Cacciuttolo; Campomanes, 2022). Alguns planos de emergência e características de projeto são mencionados abaixo (Cacciuttolo; Campomanes, 2022):

- **Capacidade do Espessador:** “Os espessadores precisam ser projetados com capacidade excedente para alimentar constantemente a planta de filtração” (Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.12).
- **Local de Contingência do Depósito:** Em condições anormais na planta de filtração, deve haver um local de contingência para armazenar os rejeitos espessados enquanto

o evento seja superado para depois serem retornados novamente à planta de filtragem (Cacciuttolo; Campomanes, 2022)

- **Unidades de filtro de reserva:** Devem ser previstas unidades de filtros adicionais para casos de mudanças das características dos rejeitos ou na quantidade de alimentação dos rejeitos nos filtros (Cacciuttolo; Campomanes, 2022).
- **Manejo de umidade ótima:**

O teor de umidade nos rejeitos descarregados pelos filtros pode, por vezes, exceder o valor máximo admissível para ser colocado na pilha. Nesses casos, a redução de umidade é realizada ao espalhar os rejeitos em camadas finas e passar tratores para aerá-los. Esse tratamento pode ser realizado na área de base da pilha, desde que haja espaço suficiente ou em uma área especial nas proximidades da instalação (Cacciuttolo; Campomanes, 2022, p.13).

#### 4 CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Com base em tudo que foi visto na literatura, o método de disposição a seco de rejeitos de mineração é uma forma alternativa ao método tradicional de barragens de rejeitos. Enquanto nas barragens os rejeitos são depositados em forma de “polpa” (com alto teor de água), no método de empilhamento a seco os rejeitos são depositados em forma de “torta”, com baixo teor de água. O método de empilhar a seco consiste em filtrar a polpa de rejeitos e depositar os rejeitos filtrados em sucessivas camadas compactadas formando pilhas.

O método permite a recuperação de grande parte da água contida nos rejeitos que poderá ser reaproveitada em outros processos da mineração. O fato de os rejeitos apresentarem baixa quantidade de água torna o empilhamento mais estável e conseqüentemente mais seguro e mais aceitável pela sociedade.

O processo de disposição de rejeitos filtrados consiste em:

- 1) Filtragem da polpa de rejeitos;
- 2) Transporte e deposição dos rejeitos filtrados;
- 3) Espalhamento, secagem e compactação;

##### **Filtragem**

Em casos de rejeitos com uma grande quantidade de partículas grossas, antes de passarem pelo processo de filtração, os rejeitos podem passar por equipamentos tipo espessadores ou ciclones para uma separação inicial das partículas sólidas e líquidos. Após isso, o material é levado para equipamentos de filtração.

Os tipos de equipamentos de filtração dependerão do gradiente de pressão aplicado para filtragem. Geralmente os filtros se dividem em: Filtros à vácuo e filtros a pressão. A escolha do tipo de equipamento a ser utilizado dependerá, principalmente, das características do rejeito como a granulometria e porcentagem de sólidos.

Os filtros à vácuo são indicados para rejeitos com maior quantidade de partículas grossas e os filtros a pressão indicados para rejeitos com granulometria mais fina e que exigem uma capacidade maior de processamento para serem filtrados. Por meio do vácuo ou da pressão (a depender do tipo de equipamento) a torta de rejeitos é formada e a água é extraída.

O resultado final da filtragem dependerá das características do rejeito. Em geral, rejeitos com partículas muito finas são mais difíceis de serem filtrados, se comparando com rejeitos com partículas maiores, pois dependem de maior processamento para se chegar na umidade desejada e podem obstruir os meios filtrantes.

### **Transporte e Deposição**

Após serem filtrados, os rejeitos são transportados da planta de filtragem até o local do depósito. O transporte pode ser feito por meio de caminhões ou correias transportadoras. Geralmente os caminhões são utilizados em casos de baixa produção de rejeitos ou quando a planta de filtragem está próxima do depósito e, nesse caso, também são utilizadas carregadeiras para encher os caminhões.

Em relação às correias transportadoras, existem dois tipos: correia transportadora fixa e correia transportadora móvel. Geralmente a correia transportadora fixa distribui os rejeitos para a correia transportadora móvel que distribui os rejeitos na área do depósito. A quantidade de equipamentos para o transporte do material, seja caminhões ou correias transportadoras, dependerá principalmente do volume de rejeitos gerados na planta industrial.

### **Espalhamento, Secagem e Compactação**

Após depositados, o material é espalhado por meio de tratores de esteira ou motoniveladoras o que permitirá a aeração do material e facilitará sua secagem. A secagem dos rejeitos é importante para garantir a umidade ótima necessária para a melhor compactação. O tempo de secagem necessário dependerá das características do rejeito a ser disposto e do clima.

Após a secagem do material é feita a compactação com equipamentos tipo compactador liso em camadas de aproximadamente 30 cm.

Com o projeto de disposição de rejeitos filtrados em operação são necessárias algumas ações para garantir a estabilidade e conformidade com as regulamentações ambientais, que são: gestão das águas e gestão da emissão do material particulado.

O gerenciamento das águas aborda: águas de precipitação e escoamento e águas excedentes do processo. Com isso, são necessárias a execução de obras para conter e direcionar as águas. Tem-se:

- Diques de contenção a jusante do empilhamento para conter as águas de escoamento e de percolação, principalmente em períodos chuvosos;
- Valas perimetrais ao depósito para captar as águas de escoamento e impedi-las de entrar em contato com o empilhamento;
- Sistemas de drenagem subterrânea com o objetivo de recolher possíveis infiltrações do empilhamento.

Toda água coletada é tratada e retorna para o processo da planta industrial, permitindo a reciclagem.

Deve ser feito também o gerenciamento do material particulado (poeira) gerado no processo pois pode impactar comunidades vizinhas e a biodiversidade do local. O controle pode ser feito por meio da construção de muros ou outras estruturas ao redor do depósito (que inclusive podem ser muros do próprio material da mineradora, como estéreis) e podem ser feitas também borrifadas de água no depósito. Outras formas de conter a emissão da poeira é realizando a cobertura do solo de superfície do depósito por meio de vegetação ou com solo superior, além de ajudar a controlar a emissão de particulados, também ajudará posteriormente no processo de fechamento da estrutura.

Adicionalmente, um ponto importante sobre o projeto de pilhas de rejeitos filtrados e que foi pouco abordado nos materiais de pesquisa analisados diz respeito à execução de um aterro experimental. O aterro experimental serve para realizar a disposição dos rejeitos em uma área teste para definir dados importantes, como o número de passagens do equipamento de compactação, espessura da camada, parâmetros geotécnicos dos rejeitos filtrados compactados, estimativas de como o material irá se comportar ao longo do tempo e também avaliar o desempenho da operação e aplicar melhorias.

Além disso, o controle da umidade durante a compactação é essencial para garantir a eficiência do processo, influenciando diretamente a densidade e a estabilidade do material ao longo do tempo.

E também, para garantir o controle e estabilidade do depósito são necessárias inspeções e monitoramentos. O monitoramento da estrutura servirá para identificar quaisquer sinais de instabilidade ou risco, como medição de movimentações (inclinômetros) e de poropressão (piezômetros).



Em relação às regulamentações, trazendo o contexto das pilhas para o Brasil, aqui ainda não existe nenhuma norma específica para um projeto de disposição a seco de resíduos. Enquanto isso não acontece, são seguidas as normas NBR 13028: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reserva de água (ABNT, 2024) e NBR 13029: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha (ABNT, 2024).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado ao apresentar de forma detalhada as etapas do processo de disposição a seco de rejeitos de mineração que são: filtragem, transporte, deposição, secagem e compactação. Além disso, viu-se que a gestão eficiente das águas, o controle da emissão de material particulado e o monitoramento constante da estrutura são essenciais para garantir a estabilidade e longevidade da instalação.

Conforme observado na pesquisa bibliográfica, o método de disposição de rejeitos a seco se apresenta como uma alternativa promissora às tradicionais barragens de rejeitos, oferecendo vantagens significativas em termos de segurança operacional e ambiental. Dentre seus principais benefícios, destacam-se a redução dos riscos de rompimento e a diminuição do impacto ambiental, já que as águas excedentes do processo de filtragem e as águas captadas pelos sistemas de drenagem do depósito podem ser reaproveitadas. Além disso, a compactação dos rejeitos em pilhas oferece uma solução mais segura e menos suscetível a rompimentos.

No entanto, apesar das vantagens, a implantação do empilhamento a seco enfrenta diversos desafios. O principal obstáculo é o entendimento do comportamento das pilhas ao longo do tempo e regulamentações mais específicas e detalhadas, necessitando de mais estudos. Além disso, o controle da estabilidade das pilhas e a manutenção contínua do processo demandam rigorosas medidas de monitoramento e inspeção. O caso da pilha de rejeitos da empresa Jaguar Mining em Minas Gerais, em que houve o deslocamento de parte do rejeito, demonstra que, embora o método seja considerado mais seguro, ele ainda possui riscos que devem ser cuidadosamente gerenciados.

Destaca-se que a autora entende que a colaboração entre a indústria, as autoridades reguladoras e a comunidade científica serão cruciais para encontrar soluções mais eficazes, garantir a segurança a longo prazo e minimizar os impactos ambientais, alinhando o setor de mineração com as exigências de sustentabilidade e responsabilidade social.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, P. S. **Disposição de rejeitos de mineração: uma revisão**. 2023. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerai) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

BRASIL DE FATO. **Caso Vallourec revela que mineradoras não priorizam a segurança da população**. 2022. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2022/01/17/caso-vallourec-revela-que-mineradoras-nao-priorizam-a-seguranca-da-populacao>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRUSCHI, G. J.; SANTOS, C. P. D.; FILHO, H. C. S.; DA SILVA MARTINATTO, C.; SCHULZ, L. R.; SILVA, J. P. D. S.; CONSOLI, N. C. Mechanical and microstructural response of iron ore tailings under low and high pressures considering a wide range of molding characteristics. **Mining**, v. 3, p. 712–730, 2023. DOI. 10.3390/mining3040039.

BURDEN, R.; WILSON, G. W. Commingling of Waste Rock and Tailings to Improve “Dry Stack” Performance: Design and Evaluation of Mixtures. **Minerals**, v. 13, n. 2, p. 295, 2023. DOI. 10.3390/min13020295.

CACCIUTTOLO, C. V.; CAMPOMANES, G. P. Practical experience of filtered tailings technology in Chile and Peru: an environmentally friendly solution. **Minerals**, v. 12, p. 889, 2022. DOI. 10.3390/min12070889.

CACCIUTTOLO, C.; ATENCIO, E. Dry Stacking of Filtered Tailings for Large-Scale Production Rates over 100,000 Metric Tons per Day: Envisioning the Sustainable Future of Mine Tailings Storage Facilities. **Minerals**, v. 13, p. 1445, 2023. DOI. 10.3390/min13111445.

CARNEIRO, J. J. V.; MARQUES, E. A. G.; FONSECA, A. J. P. V.; FERRAZ, R. L.; OLIVEIRA, Â. H. C. Characterization of an Iron Ore Tailing Sample and the Evaluation of Its Representativeness. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 41, p. 2833–2852, 2023. DOI. 10.1007/s10706-023-02430-8.

CHAPONNEL, J. Innovative product optimisation with the AFP2500 filter: a breakthrough in dewatered tailings solutions by FLSmidth. In AB Fourie & D Reid (eds), *Paste 2024: Proceedings of the 26th International Conference on Paste, Thickened and Filtered Tailings*,

Australian Centre for Geomechanics, **Perth**, p. 39-50, 2024. DOI. 10.36487/ACG\_repo/2455\_02

CNN BRASIL. **5 anos de Brumadinho: o que houve com os envolvidos no rompimento da barragem**. São Paulo, 25 jan. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/5-anos-de-brumadinho-o-que-houve-com-os-envolvidos-no-rompimento-da-barragem>. Acesso em: 25 nov. 2024.

CONSOLI, N. C.; DELGADO, B. G.; SILVA, J. P. S.; SCHEUERMANN FILHO, H. Carlos. The effect of key parameters on the mechanical response of artificially cemented iron ore tailings for dry stacking purposes. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 544, p. 11015, 2024. DOI. 10.1051/e3sconf/202454411015.

DENTONI, V.; GROSSO, B.; PINNA, F. Experimental Evaluation of PM Emission from Red Mud Basins Exposed to Wind Erosion. **Minerals**, v. 11, p. 405, 2021. DOI. 10.3390/min11040405.

FARENZENA, H. P.; BRUSCHI, G. J.; MEDINA, G. S.; SILVA, J. P. S.; LOTERO, A.; CONSOLI, N. C. Iron ore tailings stabilization with alternative alkali-activated cement for dry stacking: mechanical and microstructural insights. **Canadian Geotechnical Journal**, [S.L.], v. 61, n. 4, p. 649-667, 2024. DOI. 10.1139/cgj-2023-0125.

FONTES, M. M. M.; PAIVA, A. B. S. P.; SANTOS, A. M.; VIEIRA, G. M. D.; CORRÊA, M. D. O. **Avaliação da Melhoria de Características Geotécnicas de Rejeitos Para Empilhamento Utilizando Aditivo Polimérico**. In: COBRAMSEG, 21., 2024, Balneário Camboriú: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2024. p. 1-10.

FRÄNKLE, B.; STOCKERT, M.; SOK, T.; GLEIß, M.; NIRSCHL, H. Tailings filtration: water jet spray cleaning of a blinded iron ore filter cloth. **Minerals**, v. 13, p. 416, 2023. DOI. 10.3390/min13030416.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019. DOI. 10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73.

GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. 2011. 129 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LAMBRANHO, Lucio. **Complexo da pilha de rejeitos da Jaguar Mining que desmoronou em MG funciona com licenciamento renovado automaticamente desde 2012**. Observatório da Mineração, 16 jan. 2025. Disponível em: [observatoriodamineracao.com.br](http://observatoriodamineracao.com.br). Acesso em: 16 mar. 2025.

LOPES, P. P.; RODOVALHO, E. C.; HAJJ, T. M. E. Setor minerário brasileiro e seu impacto ambiental: uma revisão de opções berço-a-berço aplicada a resíduos, estéreis e rejeitos. **HOLOS**, v. 38, n. 6, p. e9413, 2022. DOI. 10.15628/holos.2022.9413.

MARANGON, M. **Barragens de terra e enrocamento**. In: MARANGON, M. Geotecnia de fundações e obras de terra. Juiz de Fora: UFJF, 2018. p.1-28.

MEDINA, G. S.; FARENZENA, H. P.; RODRIGUES, B. A.; SILVA, J. P.; FESTUGATO, L.; CONSOLI, N. C. Shear response of iron ore tailings under monotonic loadings. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 544, p. 14013, 2024. DOI. 10.1051/e3sconf/202454414013.

MOURA, J. E. M.; MUNIZ, M. N. S.; DIAS, M. V. L.; YAMAMOTO, L. S.; PORTO, T. B. **Avaliação do comportamento de um empilhamento de rejeitos filtrados com diferentes diretrizes operacionais**. In: COBRAMSEG, 21., 2024, Balneário Camboriú: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2024. p. 1-12.

NIGRO, G. V.; SILVA, A. C.; SILVA, E. M. S. Controles operacionais para filtro prensa utilizados para rejeito de minério de ferro. **Revista Foco**, v. 16, n. 9, p. 1-13, 2023.

POPESCU, C.; SARGHIUTA, R.; IIEV, S. Flam Valley TMF Pond, 40 years of activity and still going. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 603, p. 052053, 2019.

SANTOS, R. A.; DELGADO, B. G.; RISSOLI, A. L. C.; SILVA, J. P. S.; CASAGRANDE, M. T. Influence of initial compaction and confining pressure on the hydraulic conductivity of compacted iron ore tailings. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 544, p. 14005, 2024. EDP Sciences. DOI. 10.1051/e3sconf/202454414005.

SILVA, J. P. S.; RISSOLI, A. L. C.; CACCIARI, P. P.; FONSECA, A. J. P. V.; SCHEUERMANN FILHO, H. C.; WAGNER, A. C.; CARVALHO, J. V. A.; FESTUGATO, L.; CONSOLI, N. C. Triaxial testing response of compacted iron ore tailings considering a broad spectrum of confining pressures. **Soils And Foundations**, [S.L.], v. 64, n. 2, p. 101438, abr. 2024. DOI. 10.1016/j.sandf.2024.101438.

SILVA, J. P.; CARVALHO, J. V.; WAGNER, A. C.; CONSOLI, N. C. On the behavior of compacted filtered iron ore tailings submitted to high pressures. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 544, p. 13004, 2024. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202454413004>.

SILVA, L. C. **DISPOSIÇÃO DE REJEITOS GRANULARES VIA DRY STACKING: UMA ALTERNATIVA À DISPOSIÇÃO EM BARRAGENS**. 2021. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2021.

SOUZA, L.; RÓGENES, E.; OLIVEIRA, S.; SILVEIRA, E.; MARQUES, A.; COELHO, A. **Co-disposal dumps in Brazil: challenges and opportunities**. In: *EPD CONGRESS 2003*. [S. l.]: [s. n.], 2021.

SOUZA, M. C. R.; OLIVEIRA, A. K. C.; BEZERRA, A. L. R.; VARELA, G. G. T.; MENDES, L. P. T. Disposição de rejeito por empilhamento como alternativa para barragens de montante: uma revisão de literatura. **IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**, 2023. DOI.10.55449/conresol.6.23.XII-019.

STELA, L. H. P.; DUARTE, J. C.; PEREIRA, C. O. Métodos de disposição dos rejeitos de minério de ferro alternativos ao método de barragens: uma revisão. **Revista Brasileira de Processamento Químico**, v. 1, n. 1, p. 1-58, jul./dez. 2020.

WANG, K.; ZHANG, Z.; ZHU, L.; YANG, X.; CHEN, M.; YANG, C. Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and Dry Stack Tailings Disposal Schemes: A Case Study in Northern China. **Minerals**, v. 12, n. 12, p. 1603, 2022. DOI.10.3390/min12121603

WILLIAMS, D. J. Lessons from tailings dam failures—Where to go from here? **Minerals**, v. 11, p. 853, 2021. DOI.10.3390/min11080853.