



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas - Escola de Minas



ISABELA TEIXEIRA LIMA

**AVALIAÇÃO DE MEIOS FILTRANTES NA FILTRAGEM DE LAMA DE
MINÉRIO DE FERRO**

OURO PRETO
OUTUBRO/2022

ISABELA TEIXEIRA LIMA

**AVALIAÇÃO DE MEIOS FILTRANTES NA FILTRAGEM DE LAMA DE
MINÉRIO DE FERRO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de estudo: Filtragem de Rejeitos.

Orientador (a): Profa. Dra. Otávia Martins Silva Rodrigues

OURO PRETO

Outubro/2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732a Lima, Isabela Teixeira.
Avaliação de meios filtrantes na filtragem de lama de minério de ferro. [manuscrito] / Isabela Teixeira Lima. - 2022.
40 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Otávia Martins Silva Rodrigues.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Rejeitos (Mineração) - Filtragem. 2. Filtros e filtração - Filtro prensa.
3. Produtividade - Minas e mineração. I. Rodrigues, Otávia Martins Silva.
II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.794.2

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Isabela Teixeira Lima

Avaliação de meios filtrantes na filtragem de lama de minério de ferro

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Minas

Aprovada em 24 de Outubro de 2022

Membros da banca

Doutora - Otávia Martins Silva Rodrigues - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor - Hernani Mota de Lima - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Mestre - Mariana Caroline Andrade Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Otávia Martins Silva Rodrigues, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/11/2022



Documento assinado eletronicamente por **Otavia Martins Silva Rodrigues, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/11/2022, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0426836** e o código CRC **F14A59D6**.

Dedico este trabalho aos meus pais, Keila e Gilson que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para que meus sonhos fossem realizados.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por todas as oportunidades concedidas nessa longa caminhada.

À minha mãe Keila e ao meu pai Gilson, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Ao meu irmão Otávio por ser minha força diária e minha vontade de ser melhor a cada dia.

Aos meus amigos e amigas de Ouro Preto que fizeram essa trajetória ser mais leve, Ânnalis, Camila, João e Laís.

Ao Pedro, por ser meu amigo, companheiro de vida e por todos os dias ser meu incentivador.

Aos professores da UFOP, pela ajuda e dedicação em minha formação profissional e pessoal.

À minha orientadora, Otávia Martins Silva Rodrigues, pelo apoio e conhecimento compartilhado.

À gloriosa Escola de Minas e à UFOP pelo ensino público de qualidade e pela oportunidade de crescer em todos os âmbitos da minha vida.

RESUMO

A filtração de rejeitos vem sendo muito utilizada na mineração, e consiste na passagem da polpa de minério, através de um meio filtrante para que haja a retenção do sólido e passagem do líquido. Dessa forma, os meios filtrantes devem se caracterizar por oferecer mínima resistência ao fluxo que está sendo filtrado, além de gerar baixa concentração de sólidos no filtrado. O presente estudo teve como objetivo avaliar tipos de meios filtrantes, de forma a melhorar o desempenho e a produtividade na filtração. Para tanto, realizaram-se testes piloto com tecidos de poliamida, poliéster e polipropileno e um teste industrial com o tecido que mostrou melhor desempenho na escala piloto. Os resultados do teste piloto apontaram que o tecido de poliamida monofilamento e uma permeabilidade de $27 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$, de referência 4, apresentou melhor volume do filtrado (54ml), maior tamanho da torta (20mm) e melhor limpeza após lavagem do tecido, devido ao aumento na abertura da trama do tecido e a mudança do tipo de material do tecido (de polipropileno para poliamida). Ao realizar o teste industrial, o uso do tecido novo (poliamida) resultou em melhor performance de todos os parâmetros avaliados (TUF, produtividade, tempo total de ciclo e tempo de alimentação) ao ser comparado com o tecido antigo (polipropileno). A produtividade aumentou em média 57,55%, o tempo total de ciclo diminuiu em média 14 minutos, o tempo de alimentação reduziu, em média, 5 minutos e a TUF aumentou, em média, 58,18%. Ao aumentar a produtividade, também foi possível aumentar a capacidade de produção da planta sem interferências de parada na filtração.

Palavras-chave: Meios Filtrantes. Rejeito. Filtro prensa. Produtividade.

ABSTRACT

The tailings filtration being widely used in mining, and consists of ore pulp, through a filtered medium so that there is the passage of a medium that comes from the solid and the passage of the liquid. Thus, filtered media must be characterized by minimal flow resistance that provides filtration, in addition to generating low unfiltered solids. The present study aimed to evaluate the types of filtered media, in order to improve filtration performance and productivity. To this end, pilot tests will be carried out with polyamide, polyester and polypropylene fabrics and an industrial test will be carried out with the fabric that showed better performance on the pilot scale. The pilot tested results showed that the monofilament polyamide fabric and a permeability of 27 m³/min/m², reference 4, presented the best filtered cleaning volume (54ml), larger cake size (20mm) and better after washing the fabric, due to the increase in the opening of the fabric weft and the change in the type of fabric material (from polypropylene to polyamide). When performing the industrial test, the use of the new fabric (polyamide) resulted in better performance of all parameters evaluated (TUF, productivity, total cycle time and feeding time) when compared with the old fabric (polypropylene). The increase increased by 57.5%, cycle time averaged 1% averaged, averaged 4 minutes, average TUF increased, 5 minutes, 5% increased 8.18%. By increasing productivity, it was also possible to increase the plant's production capacity without interfering with filtering downtime.

Keywords: Filter Media. reject. Filter press. Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero.....	13
Figura 2 - Espessador convencional (vazio)	15
Figura 3 - Princípio de filtração	16
Figura 4 - Fases do ciclo de filtração	17
Figura 5 - Fases do ciclo de filtração	19
Figura 6 - Tessituras básicas dos tecidos	21
Figura 7 - Comparativo – Características Físicas.....	22
Figura 8 - Comparativo Características Químicas.....	23
Figura 9 - Classificação das fibras	23
Figura 10 - Classificação permeabilidade do ar	24
Figura 11 - Fluxograma da separação sólido - líquido	25
Figura 12 - Tubo Test.....	27
Figura 13 - Uma das placas com o tecido novo	29
Figura 14 - Resultado da lavagem de cada Tecido	32
Figura 15 - Qualidade do filtrado e da torta	32
Figura 16 - Comparação da T.U.F entre o tecido novo e o tecido antigo	33
Figura 17 -- Comparação da produtividade entre o tecido novo e o tecido	34
Figura 18 - Comparação do tempo total de ciclo entre o tecido novo e o tecido antigo	34
Figura 19 - Comparação do tempo de alimentação entre o tecido novo e o tecido antigo	35

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características dos tecidos utilizados no teste.....	28
Tabela 2 - Resultados do teste em laboratório realizados em 23/03/2022.....	30
Tabela 3 - Resultados da análise granulométrica realizada em 23/03/2022	30
Tabela 4 - Resultados do teste realizado no Tubo Test	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 MINÉRIO DE FERRO	13
3.2 SEPARAÇÃO SÓLIDO – LÍQUIDO	14
3.3 FILTRAGEM	15
3.4 FILTRAGEM DE REJEITO	18
3.5 FILTRO PRENSA	18
3.6 MEIOS FILTRANTES	20
4 ESTUDO DE CASO	24
4.1 LOCALIZAÇÃO.....	24
4.2 FLUXOGRAMA DA SEPARAÇÃO SÓLIDO - LÍQUIDO	25
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	30
5.2 RESULTADO DO TESTE PILOTO	31
5.3 RESULTADO DO TESTE INDUSTRIAL.....	33
5.4 GRANULOMETRIA X PRODUTIVIDADE.....	35
6 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A produção de minério de ferro tem grande importância na economia nacional pois representa uma das atividades mais rentáveis para o país devido aos recursos financeiros envolvidos, que vão desde a análise mineral para determinar as jazidas minerais, até a comercialização dos produtos do minério de ferro, sendo fonte de investimento e geração de empregos.

Devido à crescente exploração mineral, as jazidas têm fornecido minérios de baixo teor e gerando um volume maior de rejeitos nos processos de lavra e beneficiamento. As barragens eram os principais meios utilizados para descarte dos rejeitos de processamento de minério de ferro, especialmente da fração lama. Entretanto, após os rompimentos de barragens, de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), foi definido que todas as barragens existentes fossem descomissionadas e este método fosse eliminado (SILVEIRA, 2021).

Tal acontecimento, fez com que novas formas de disposição de rejeitos fossem estudadas, com o intuito de encontrar uma alternativa viável. A filtração de rejeitos apresenta-se como uma possibilidade. Neste processo, a lama gerada na fase de tratamento do minério é filtrada e uma torta com umidade apropriada para empilhamento é gerada. Além disso, a água filtrada pode ser reutilizada na usina. (SILVEIRA, 2021).

A filtração de lama de minério de ferro é disruptiva, porém, a operação filtração é amplamente utilizada em vários segmentos e com formas de funcionamento adaptadas à necessidade da indústria em questão. Hoje há no mercado filtros à vácuo, pressão, centrifugação, filtração hiperbárica e capilar, sendo que o filtro de pressão se apresenta com maior potencial para filtração de lama.

Levando em conta que o rejeito (lama) gerado no processo de beneficiamento possui sua particularidade em cada caso, o estudo de novos meios filtrantes se faz necessário para adaptá-lo a polpa trabalhada e aumentar o desempenho do equipamento, melhorando a performance de toda a planta de beneficiamento, além de diminuir os impactos ambientais.

Dessa forma, diante desse contexto e do minério disponível na empresa em estudo, fez-se necessário realizar pesquisas e análises de novos meios filtrantes disponíveis no mercado, para otimizar o desempenho do processo de filtração.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar 5 tipos de meios filtrantes, de forma a melhorar o desempenho da operação de filtração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

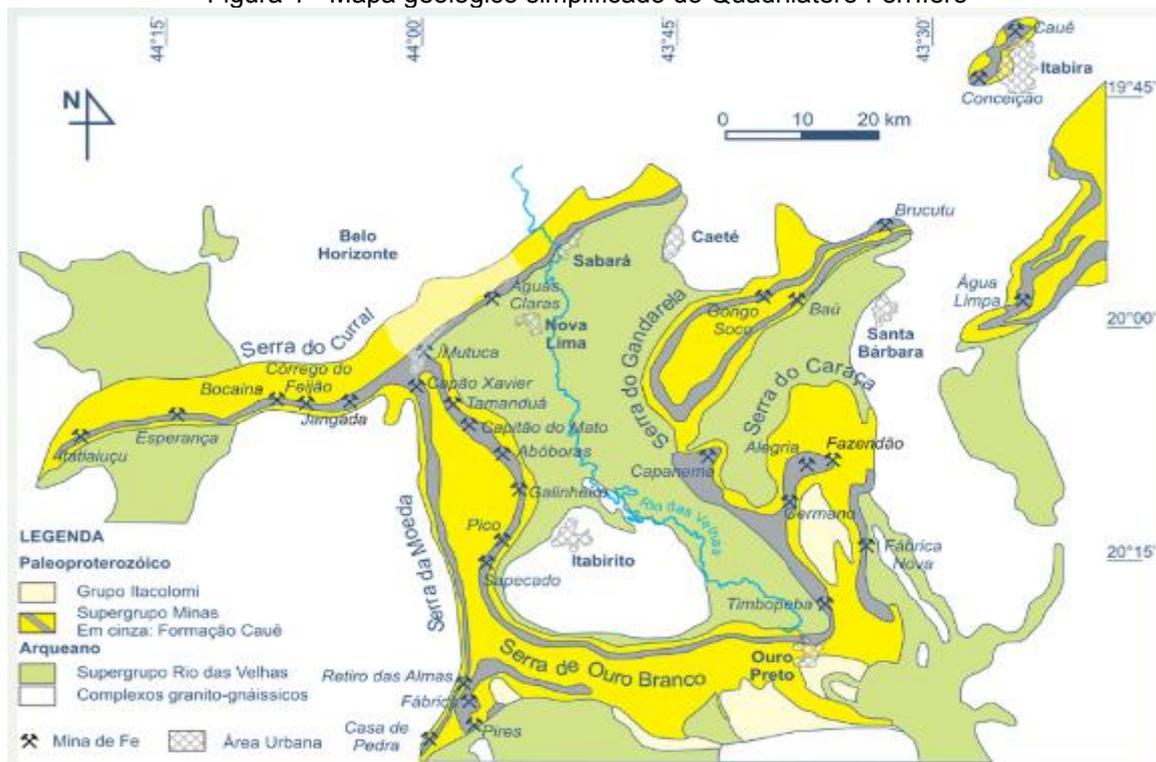
- Amostrar e caracterizar química e granulometricamente uma amostra de rejeito (lama) de minério de ferro que alimenta a planta de filtração de uma usina;
- Realizar teste piloto (tubo test) para selecionar o melhor meio filtrante para realização de teste em escala industrial;
- Realizar o teste em escala industrial e demonstrar os ganhos para o processo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MINÉRIO DE FERRO

As principais regiões produtoras de minério de ferro do Brasil estão situadas no Quadrilátero Ferrífero (Figura 1), na Província Mineral de Carajás e na região de Corumbá, que contém depósitos de rochas constituintes de Formações Ferríferas Bandadas (FFB), denominadas itabirito. No Brasil, comercialmente são explorados minérios itabiríticos, hematíticos ou minérios de canga, que apresentam elevados teores de ferro e quantidades pequenas de elementos indesejados nos processos (CASTRO, 2021).

Figura 1 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Caxito e Dias (2018, p. 17) adaptado de Dorr (1969).

O minério de ferro explorado no Quadrilátero Ferrífero pode ser dividido em dois grupos principais: o minério itabirítico e o minério hematítico, este último apresenta maior teor de ferro em sua composição.

3.2 SEPARAÇÃO SÓLIDO – LÍQUIDO

O setor mineiro é um dos mais complexos quando se trata de sustentabilidade ambiental. Com isso, a separação sólido-líquido tem o objetivo de separar sólidos da água, decorrente das operações de tratamento do minério. O processo de espessamento é um dos métodos de separação sólido-líquido. O espessamento e a clarificação de efluentes nas usinas de beneficiamento é o método mais utilizado na mineração atual, tanto por questões econômicas como ambientais.

O espessamento consiste na operação de separação do sólido-líquido baseada na velocidade de sedimentação. Este método é utilizado para: (i) recuperação da água de polpas de rejeitos ou concentrados; (ii) aumentar a concentração de sólidos nas polpas de rejeitos; (iii) aumentar a densidade de polpas visando melhorar a eficiência de operações subsequentes, como a filtração, moagem, flotação, transporte, estocagem e lixiviação; e (iv) separação dos constituintes dissolvidos de resíduos lixiviados em instalações hidrometalúrgicas (OLIVEIRA; LUZ; LACERDA, 2004).

3.2.1 Espessamento e seu impacto na filtração

O espessador convencional (Figura 2) é um equipamento constituído por uma parte cilíndrica e outra cônica. Neste equipamento, a separação ocorre devido à velocidade de sedimentação: partículas sólidas são sedimentadas pela ação da gravidade (“underflow”) e retiradas no fundo do equipamento por bombeamento, enquanto a fração sobrenadante, majoritariamente água, transborda e é coletada na parte superior (“overflow”).

Figura 2 - Espessador convencional (vazio)



Fonte: Santos (2018, p. 15).

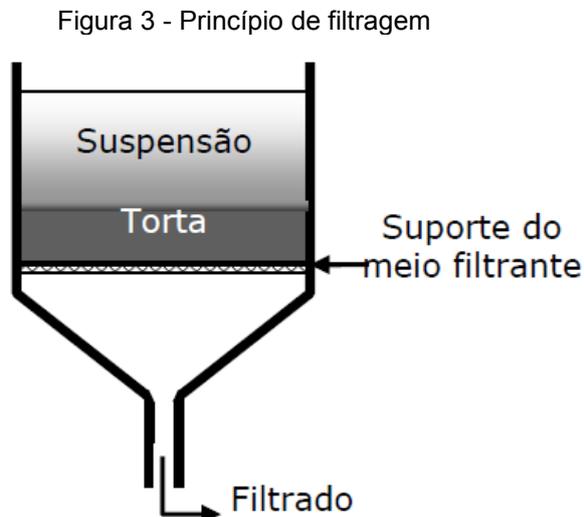
A alimentação da polpa é recebida pelo centro, enquanto as partículas sólidas são depositadas no fundo do espessador, tal ação promove o aumento da porcentagem de sólidos na parte inferior, e na parte superior é obtido um produto clarificado, composto de água descartada nas calhas do overflow. O processo de sedimentação de partículas por meio de espessadores constitui um processo de baixo custo e de grande praticidade e simplicidade operacional, que pode ser realizado por meio de várias formas: bateladas, semicontínuo ou continuamente (SILVEIRA; SILVA, 2018).

No ramo da mineração, os espessadores são utilizados para a obtenção de polpas mais adensadas para serem encaminhadas à filtração. O desempenho da etapa de espessamento impacta de maneira direta o processo de filtração.

3.3 FILTRAGEM

A filtração consiste em uma operação unitária de separação dos sólidos mediante a passagem da polpa através de um meio filtrante, que consegue reter as partículas sólidas e permite a passagem do líquido. Dessa maneira, o líquido que atravessa o meio filtrante é denominado de filtrado e os sólidos retidos constituem a torta (GUIMARÃES, 2011).

Neste sentido, a Figura 3 ilustra o meio filtrante sobre o qual encontra-se uma camada de sólidos sedimentada (torta), a polpa a ser filtrada e a fase líquida separada (filtrado).



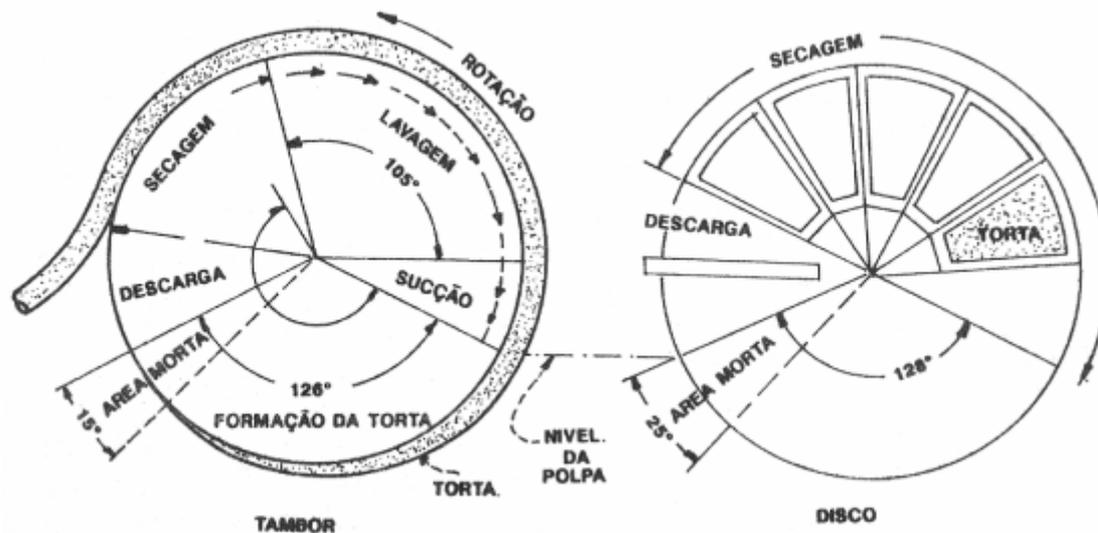
Fonte: Oliveira e Luz (2007, p. 70).

A filtragem pode ser realizada pela pressão hidrostática da suspensão sobre o meio filtrante, mais conhecida como filtragem por gravidade, ou por meio de uma força externa, em que são possíveis as seguintes alternativas: filtragem a vácuo, em que é criada uma pressão negativa (sub-atmosférica) abaixo do meio filtrante; filtragem sob pressão, em que é aplicada uma pressão positiva do lado da torta; filtragem centrífuga, que utiliza a força centrífuga para forçar a passagem do líquido; filtragem hiperbárica, em que são combinados vácuo e pressão; filtragem capilar, em que são utilizados meios cerâmicos porosos (OLIVEIRA; LUZ, 2007).

Conforme destaca Oliveira e Luz (2007), os métodos utilizados para a execução da filtragem utilizam da gravidade, pressão, vácuo ou forças centrífugas, tendo em vista que a produtividade é influenciada pela viscosidade da polpa, temperatura, densidade, espessura da torta e velocidade média.

O ciclo de filtragem é composto de fases, como: (i) formação da torta, que consiste na acumulação de um volume de minério junto ao meio filtrante; (ii) secagem, que consiste na aspiração da água contida na torta através do meio filtrante; (iii) descarga, que consiste em descarregar a torta após a sua formação, conforme pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 - Fases do ciclo de filtragem



Fonte: Oliveira e Luz (2007, p. 72).

O descarregamento da torta pode ser realizado por meio da inversão do sentido do fluxo de ar na tela. Em filtros a vácuo utiliza-se um sopro de ar comprimido, e ao mesmo tempo em que os poros são desobstruídos, a torta é despreendida da tela. Cabe considerar que a filtragem de materiais extremamente finos muitas vezes requer o pré-revestimento (pre-coating) do meio filtrante, que consiste na alimentação de uma fração granulométrica mais grossa do mesmo material antes do início da formação da torta. Caso tal procedimento não seja possível, pode ser utilizada uma camada mais fina de diatomita (sílica amorfa) ou perlita (produto do recozimento de aços), que tem como intuito facilitar a filtragem. (OLIVEIRA; LUZ, 2007).

As características da torta produzida variam de uma operação para outra, de maneira que sólidos cristalinos formam tortas abertas que facilitam o escoamento do filtrado, enquanto os precipitados gelatinosos (hidróxidos de ferro e alumínio), produzem tortas pouco permeáveis (OLIVEIRA; LUZ, 2007).

Em suma, a filtragem é uma operação essencialmente mecânica e requer menores quantidades de energia que a evaporação ou secagem.

3.4 FILTRAGEM DE REJEITO

De acordo com Baginsk (2009), além da dificuldade em prover novas áreas de disposição de rejeitos devido à crescente proximidade com áreas residenciais, no estado de Minas Gerais, há uma dificuldade adicional na aprovação de barragens acima de 800 hectares.

No Deserto do Atacama, região norte do Chile, a filtragem de rejeitos já é bastante utilizada nas minerações. Este método visa reduzir o consumo e perdas de água, já que há uma grande escassez na região.

Um estudo feito por (Guimarães et al.,2012) mostra a taxa unitária de filtragem (T.U.F) de alguns tipos de filtros para rejeitos de flotação e lamas. Na filtragem de rejeitos de flotação, o filtro de disco convencional apresentou uma boa T.U.F de 1,3 (t/h/m²) e torta com umidade entre 10% e 13%. Já o filtro horizontal de correia, quando comparado ao de disco, apresentou 1% a menos na umidade, mas uma T.U.F de 2,6 (t/h/m²).

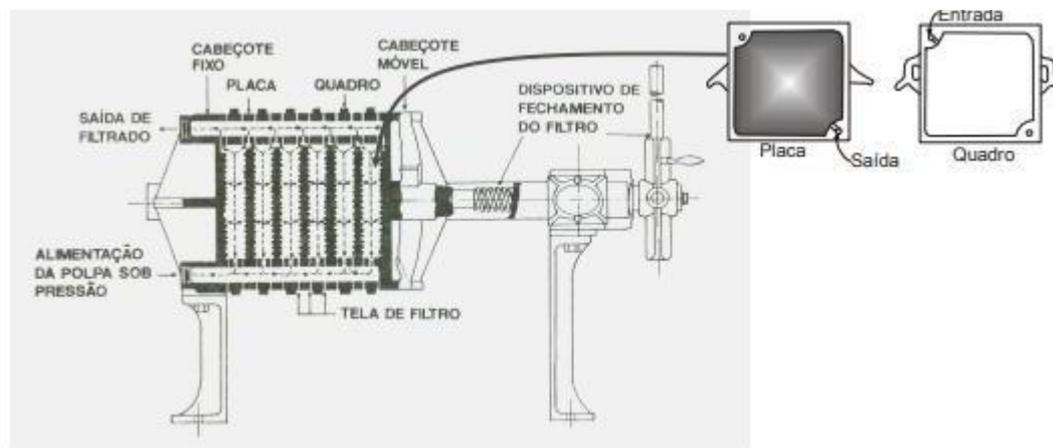
Já na filtragem de rejeito lama, os resultados só foram visíveis nos testes com filtragem sob pressão e filtragem hiperbárica. Nos dois tipos de filtro a T.U.F foi baixa, aproximadamente 0,3 (t/h/m²) e umidade na casa dos 20%.

3.5 FILTRO PRENSA

O filtro prensa (Figura 5), trata-se de um equipamento composto de placas e molduras arranjadas de forma alternada. A parte côncava da moldura é separada da placa através de um tecido filtrante. A compressão do tecido de filtro entre as placas e as molduras ajuda a prevenir vazamentos, e uma pequena câmara é formada entre cada par de placas (OLIVEIRA; LUZ, 2007).

A polpa é introduzida no espaço vazio das molduras nos canais formados pelos orifícios localizados nos cantos das placas de molduras. O filtrado passa através do tecido e flui por gravidade para a parte inferior da moldura onde é recolhido por canais contínuos. A torta permanece na moldura e, quando o espaço é preenchido, é descarregada acionando cada uma das placas. Caso necessário, antes de realizar o descarregamento, a torta pode ser lavada (OLIVEIRA; LUZ, 2007).

Figura 5 - Fases do ciclo de filtragem



Fonte: Oliveira, Luz e Lacerda (2004, p. 89).

A vantagem desse tipo de filtro se encontra na sua capacidade de produzir tortas com menor taxa de umidade. Contudo, conforme destacam Oliveira e Luz (2007), até recentemente os filtros prensa tinham pouca aplicação na indústria mineira por operarem em bateladas e devido à dificuldade de descarregamento da torta.

Existem poucos estudos publicados sobre a utilização do filtro prensa em escala industrial. Mas após melhorias de tecnologia através de estudos, como o de Couto et al. (2016), que tem como tema “Simulação em laboratório do desaguamento de rejeito de mineração utilizando filtros prensa eletrocinéticos” e como o estudo de Rocha et al. (2014), que tem como tema “Estudo da resistência da torta utilizando o filtro prensa”, este tipo de filtro vem sendo bastante utilizado na mineração.

Além disso, é uma alternativa de baixo consumo de energia, tem um menor custo de manutenção e concentra uma ampla área de filtragem em um espaço de instalação pequeno.

O filtro prensa, na mineração, pode ser utilizado para concentrado e rejeito. O processo para ambos é o mesmo. O rejeito ou concentrado é filtrado, a água retorna ao processo industrial por meio de recirculação, e o rejeito seco enviado à pilha de estéril e quando é concentrado, enviado para pilha de produto.

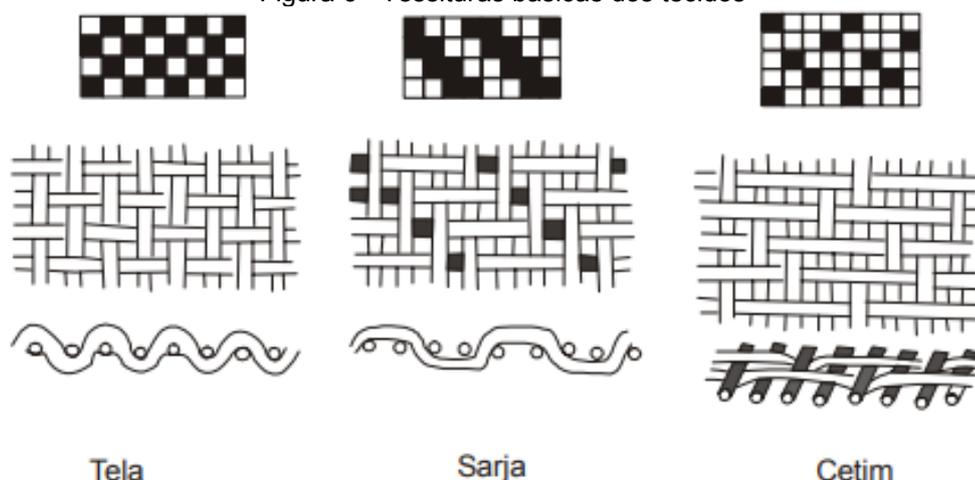
3.6 MEIOS FILTRANTES

A escolha do meio filtrante é importante para garantir a eficiência da operação de filtragem e deve considerar a habilidade do meio em reter os sólidos da polpa sem entupir. O meio deve ser mecanicamente forte, resistente à corrosão e oferecer a menor resistência possível à passagem da fase líquida da suspensão (OLIVEIRA; LUZ; LACERDA, 2004).

Os meios filtrantes podem ser fabricados em algodão, lã, linho, nylon, seda, juta, fibra de vidro, borracha porosa, carbono poroso, metais e outros materiais sintéticos. Cabe apontar que os tecidos mais utilizados são os de algodão devido ao seu baixo custo inicial e à disponibilidade em diferentes espessuras e aberturas, podendo ser utilizados para filtragem de sólidos de 10 μm . Contudo, apresentam uma baixa resistência à operação em meio ácido (OLIVEIRA; LUZ; LACERDA, 2004).

Silveira e Silva (2018) destacam que os tecidos utilizados na filtragem recebem grande influência da composição química do material utilizado, bem como a maneira em que as malhas são tecidas, que pode resultar em uma tela de quadrados alternados. A Figura 6 apresenta os tipos de trama mais aplicados na indústria.

Figura 6 - Tessituras básicas dos tecidos



Fonte: Silveira e Silva (2018, p. 26).

Conforme pode ser observado na Figura 6, cada tecido acompanha uma forma de trama diferente, que influencia diretamente a operação de filtração. Além disso, a característica física do fio também se apresenta como um fator para a permeabilidade do meio filtrante. Os filtros cerâmicos são constituídos, basicamente, de silicatos, aluminossilicatos (argilas, quartzo e feldspato) e carbonatos (calcários e dolomitas). Nesse tipo de filtro não são utilizadas telas filtrantes, mas setores de material poroso rígido, que permitem a filtração por capilaridade através de microporos que compõem a sua estrutura (SILVEIRA; SILVA, 2018).

A microestrutura do meio filtrante de cerâmica só pode ser percebida a partir de técnicas microscópicas disponíveis. Os elementos que compõem a microestrutura são os grãos individuais, limites de grãos, poros ou defeitos. Além disso, é importante considerar que existe uma relação direta entre a microestrutura e as propriedades dos materiais como força, dureza e tenacidade. Devido à essa relação, vários estudos têm sido desenvolvidos acerca das diversas aplicações desses materiais (OLIVEIRA; LUZ; LACERDA, 2004).

Existem no mercado três tipos de fios na fabricação dos tecidos técnicos. São eles:

- Os de monofilamento, como o próprio nome diz, trata-se de um único fio;
- Os de multifilamento, que são filamentos extrusados em fileiras de forma contínua;
- Os de fibra cortada, que trata de um fio preparado com pequenos monofilamentos chamado de fibras, com comprimento variando de 3,0 a 8,0 cm, que

são entrelaçados mecanicamente formando um fio. Este processo tenta imitar como é o algodão.

Com esses três tipos de fios, são fabricados inúmeros modelos de tecido. Cada qual atendendo uma filtragem específica. Todos os tecidos utilizados em filtragem são do tipo Tecidos Planos. O sentido longitudinal denomina-se urdume e o transversal trama.

Dessa forma, cada tecido possui suas propriedades físico-químicas e a escolha do tecido para determinada filtragem, dependerá do tipo de minério a ser filtrado e se há ou não produtos químicos advindos do espessamento. Neste contexto, a Figura 7 ilustra as características físicas e a Figura 8 as características químicas dos tecidos usados neste trabalho.

Figura 7 - Comparativo – Características Físicas

	Poliamida	Poliéster	Polipropileno
Densidade	1.14	1.38	0,91
Resistência à tração a seco (kgf/mm ²)	41-67	45-75	35-32
Resistência relativa molhado (%)	-10	-10	Inalterado
Alongamento na ruptura seco (%)	20-35	15-30	20-50
Alongamento na ruptura molhado (%)	10	Inalterado	Inalterado
Absorção de umidade relativa (65%) a 20°	3,8	0,4	0
Resistência a temperatura	115	150	90 - picos 110
Resistência às intempéries	Regular	Excelente	Fraco
Resistência à abrasão	Exceclente	Bom	Regular

Fonte: Relatório disponibilizado pelo fornecedor.

Figura 8 - Comparativo Características Químicas

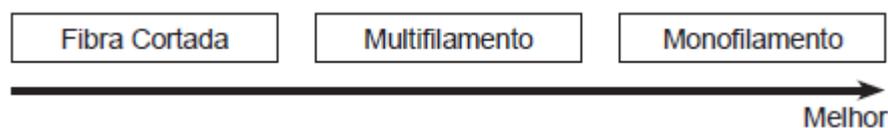
	Poliamida	Poliéster	Polipropileno
Ácido Forte	D	D	A
Ácido Fraco	D	B	A
Ácalis			
Base Forte	A	D	A
Base Fraca	A	C	A
Agentes Oxidantes			
Água Oxigenada	C	A	A
Hipoclorito de sódic	B	C	B
Sais Orgânicos			
Cloreto de Cálcio	D	A	A
Cloreto Férrico	D	A	A
Sulfato de nível	D	B	A
Sulfato de zinco	D	A	A
Solventes			
Acetona	B	A	C
Benzeno	B	A	C
Clorofórmio	A	A	D
Percloroetileno	B	A	D
Tolueno	A	A	D
Xileno	B	A	D
A - Excelente; B - Regular; C- Fraco; D- Não resiste			

Fonte: Relatório disponibilizado pelo fornecedor.

Assim, para uma boa performance da filtragem é necessário definir alguns parâmetros anteriormente. Alguns deles são:

1. Definição da fibra (poliamida, poliéster, polipropileno) com base nas tabelas de resistência química e dados do processo determinando a fibra;
2. Tipo da fibra. Na figura 9, é apresentada a classificação das 3 fibras existentes no mercado.

Figura 9 - Classificação das fibras



Fonte: Relatório disponibilizado pelo fornecedor.

3. Permeabilidade do ar. Na figura 10, temos que quanto maior a permeabilidade do ar, melhor será a performance do tecido filtrante.

Figura 10 - Classificação permeabilidade do ar



Fonte: Relatório disponibilizado pelo fornecedor.

Ao analisar as Figuras 9 e 10, em todo filtro prensa o ideal é se utilizar tecidos de monofilamento e com alta permeabilidade. Assim, tem-se as seguintes vantagens: melhor desprendimento da torta; melhor lavagem; e menor possibilidade de entupimento ou colmatação.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados os dados coletados para o estudo de caso, que compreendem: a localização da empresa, fluxograma da separação sólido-líquido características do tubo teste e dos tecidos utilizados, processo de coleta das amostras de rejeito lama, e os passos utilizados para a realização do teste piloto.

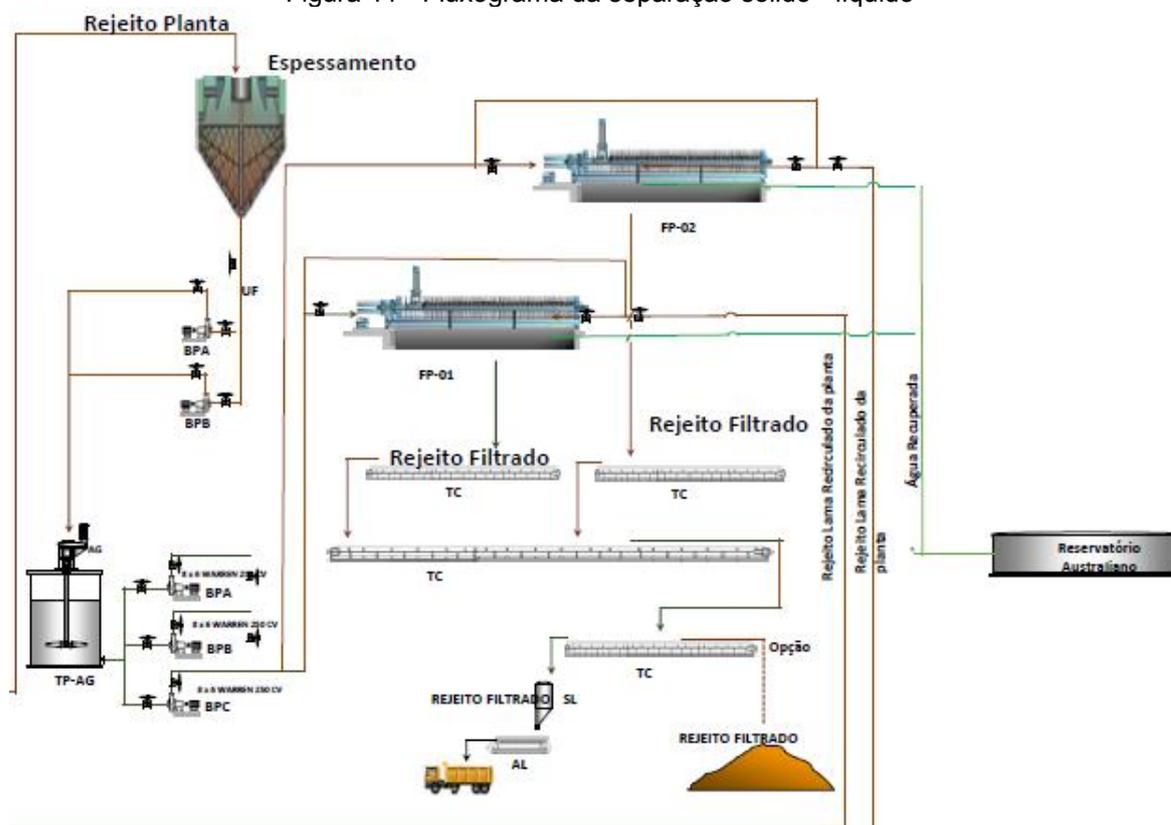
4.1 LOCALIZAÇÃO

A empresa analisada situa-se no estado de Minas Gerais, suas operações são realizadas na cidade de Desterro de Entre Rios, localizada a 157 quilômetros da capital do estado, Belo Horizonte

4.2 FLUXOGRAMA DA SEPARAÇÃO SÓLIDO - LÍQUIDO

O fluxograma da separação sólido – líquido (Figura 11), inicia-se ao direcionar o rejeito da planta até o espessador. Abaixo do espessador estão localizadas as bombas responsáveis pelo transporte do underflow para o tanque agitador. Em seguida, este material a etapa de filtragem. Posteriormente, a torta é descarregada em duas correias transportadoras, que a direcionam para outra correia até chegar ao silo. Nessa etapa, tem-se a opção de montar uma pilha. A água recuperada (“overflow”) é direcionada para o reservatório (chamado Australiano) e reutilizada no processo.

Figura 11 - Fluxograma da separação sólido - líquido



Fonte: elaborado pela autora.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utiliza os resultados dos testes piloto e dados de desempenho dos dois filtros prensas industriais que estão em operação, relacionados com o tipo de tecido utilizado.

Para melhor compreensão dos próximos sub-tópicos cabe ressaltar que, a empresa em estudo possui dois filtros prensa desde 2019, entretanto eles vêm apresentando uma performance ruim após o aumento da porcentagem de finos, que ocorreu em meados de 2021. Importante destacar que o tecido utilizado nesses filtros era de polipropileno. Percebeu-se a necessidade de realizar testes com um novo fornecedor de tecido e optou-se por avaliar o tecido de poliamida devido à maior resistência a altas temperaturas e à abrasão, visto que o minério da empresa em estudo é bastante abrasivo. Para tal, realizaram-se testes piloto (tubo test) e teste industrial.

Outro fator importante a ser considerado, é a característica do rejeito lama da empresa, que apresenta um alto teor de ferro (36%) e uma considerável porcentagem de finos. Ambos os fatores podem interferir na boa performance da filtragem.

4.3.1 Coleta das amostras de lama

Foi coletada uma amostra da lama do Espessador no dia 23/03/2022 para realização dos testes. A amostra foi coletada no tanque de alimentação da filtragem, retirando três incrementos, um em cada turno de trabalho. Essa amostra foi enviada para análise granulométrica e química.

A análise granulométrica foi realizada via peneiramento a úmido com peneiras com aberturas de 4,00mm a 0,025mm.

A análise química foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), que consiste em um procedimento não destrutivo que identifica a composição e concentração dos elementos existentes na amostra. Neste processo, ocorre uma emissão de energia específica de cada elemento químico, permitindo a sua identificação e correspondente quantificação.

4.3.2 Características do tubo Test e dos tecidos utilizados

Após os ensaios de caracterização da amostra, fizeram-se testes com Tubo Test (Figura 12), o qual simula o filtro prensa.

Figura 12 - Tubo Test



Fonte: dados da pesquisa.

Com as características da lama foi possível analisar quais meios filtrantes poderiam performar melhor com o tipo de litologia e granulometria. Além do meio filtrante utilizado atualmente pela mineradora (padrão), foram indicados mais 4 tecidos com diferentes fibras, tipos de fios, permeabilidade, gramatura e contextura, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - Características dos tecidos utilizados no teste

	Padrão	1	2	3	4
Fibra	PP	PET	PP	PA	PA
Gramatura (g/m ²)	435	570	500	430	410
Tipo de fio	monofilamento x Multifilamento	monofilamento x Multifilamento	monofilamento	monofilamento	monofilamento
Permeabilidade ao ar com 1/2" CA m ³ /min.m ²	4,0	6,0	9,0	25,0	27,0
Contextura	certim	certim	certim	certim	certim
Legenda: PP - Polipropileno PET - Poliéster PA - Poliamida					

Fonte: dados da pesquisa.

Para a realização do teste foram utilizadas 100 ml de lama, utilizando uma pressão máxima de 7 bar.

No teste foi analisado o comportamento do rejeito lama em cada tipo de tecido, além de ser avaliada a permeabilidade, a limpeza do tecido após lavagem, tamanho da torta e o volume total de filtrado (ml).

A permeabilidade de cada tecido já havia sido repassada pelo fornecedor. Após filtragem da amostra no TuboTest, o filtrado foi condicionado em um bécker, a torta formada na filtragem foi medida com um paquímetro e por fim, foi realizado a lavagem dos tecidos para analisar a colmatação.

4.3.3 Teste industrial

Após realização do teste piloto foi realizado o teste industrial com o tecido que apresentou um bom desempenho na etapa anterior. Para a realização do teste, foi deixado um filtro industrial com o tecido já utilizado na minerado (padrão) e outro filtro com o tecido que obteve melhor desempenho no teste piloto. Posteriormente foi realizada a medição comparativa do desempenho dos dois filtros, durante 6 ciclos.

Foram analisados os seguintes parâmetros: taxa unitária de filtragem (TUF), produtividade, tempo total de ciclo, e tempo de alimentação.

A TUF, medida por dia e desconsiderando as horas de paradas por manutenção, foi calculada dividindo a produção dos filtros pelo tempo total de ciclo, vezes 24, dividido pela área de filtração que é de 800m². Cálculo realizado pela fórmula abaixo.

$$T.U.F = RF / (T * 24) / 800$$

Onde:

- RF – Rejeito Filtrado (t)
- T – Tempo total de ciclo (min)

Na figura 13, temos uma das placas do filtro industrial com o tecido que foi selecionado para teste.

Figura 13 - Uma das placas com o tecido novo



Fonte: dados da pesquisa

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados do teste piloto e do teste industrial, incluindo o desempenho da produção ao comparar a granulometria com a produtividade e discute-se também os resultados encontrados

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Na tabela 2, podemos ver os resultados obtidos na análise química realizada em laboratório, tendo um teor de ferro de 36,37%, sendo considerado um teor elevado para a filtragem de rejeitos

Tabela 2 - Resultados do teste em laboratório realizados em 23/03/2022

Data	ENSAIOS QUIMICOS									
	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	CaO	MgO	TiO ₂	PPC	FQ
23/03/2022	36,37	25,93	10,37	0,09	0,473	0,019	0,154	0,285	10,43	100

Fonte: dados da pesquisa.

O rejeito lama é constituído de hematita, itabirito friável e argilas, com densidade dos sólidos, da polpa e a porcentagem de sólidos iguais a 3,01 g/cm³, 1,35 g/cm³ e 34% respectivamente

Na análise granulométrica, após secagem e pesagem de cada material retido nas peneiras, obtivemos o resultado demonstrado na tabela 3, tendo a porcentagem de finos a soma dos retidos abaixo da malha de 0,106mm.

Tabela 3 - Resultados da análise granulométrica realizada em 23/03/2022

Data	ENSAIOS FISICOS											
	H2O	4,00 mm	2,00 mm	1,00 mm	0,500 mm	0,150 mm	0,106 mm	0,075 mm	0,045 mm	0,025 mm	Passante	Soma
23/03/2022	65,66	0	0,01	0,1	0,63	3,75	2,27	3,11	5,84	8,42	75,87	100

Fonte: dados da pesquisa

Como podemos observar nos resultados demonstrados na tabela 3, o rejeito lama apresentou 93,24% das partículas abaixo de 0,106mm, sendo toda porcentagem de finos. Logo, temos uma porcentagem alta de finos na alimentação dos filtros.

5.2 RESULTADO DO TESTE PILOTO

Conforme pode ser observado na tabela 4, foi analisado o comportamento do rejeito lama em cada tipo de tecido, além de ser avaliada a permeabilidade, a limpeza do tecido após lavagem, tamanho da torta e o volume total de filtrado (ml).

Tabela 4 - Resultados do teste realizado no Tubo Test

Produto: Rejeito Minério de Ferro		Volume : 100ml			
Tecido	Padrão	1	2	3	4
Permeabilidade (m ³ /min/m ²)	4,0	6,0	9,0	25,0	27,0
Volume Total de Filtratado (ml)	50	52	52	54	54
Tamanho do cake (mm)	15	18	20	20	20
Limpeza	R	R	RZ	RZ	B
Legenda	R - Ruim	RZ - Razoável	B - Bom		

Fonte: dados da pesquisa.

Mediante os testes realizados, observou-se que o rejeito lama filtrou bem em todos os tipos de tecidos, mas nos tecidos de referência 2, 3 e 4 atingiu rapidamente a espessura da torta igual a 20mm no TuboTest (que representa 40mm de torta no filtro industrial). Por serem tecidos novos, os tempos de filtração foram similares. Na prática, na sequência de ciclos, a tendência de tecidos feitos da junção de fios de monofilamento e multifilamento (mono x multi), tendem a colmatar e aumentar o tempo de ciclo de filtração (cenário atual). Tecidos de monofilamento tendem a garantir uma colmatação gradativa e com isso possui condições de manter o tempo de ciclo estável. Já no teste de lavagem, visualmente os tecidos de monofilamento tiveram melhores resultados, sendo o melhor o de referência 4.

Na figura 14, é possível visualizar cada tecido após lavagem e na figura 15, a qualidade do filtrado e da torta do teste realizado com o tecido de referência 4.

Figura 14 - Resultado da lavagem de cada Tecido



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 15 - Qualidade do filtrado e da torta



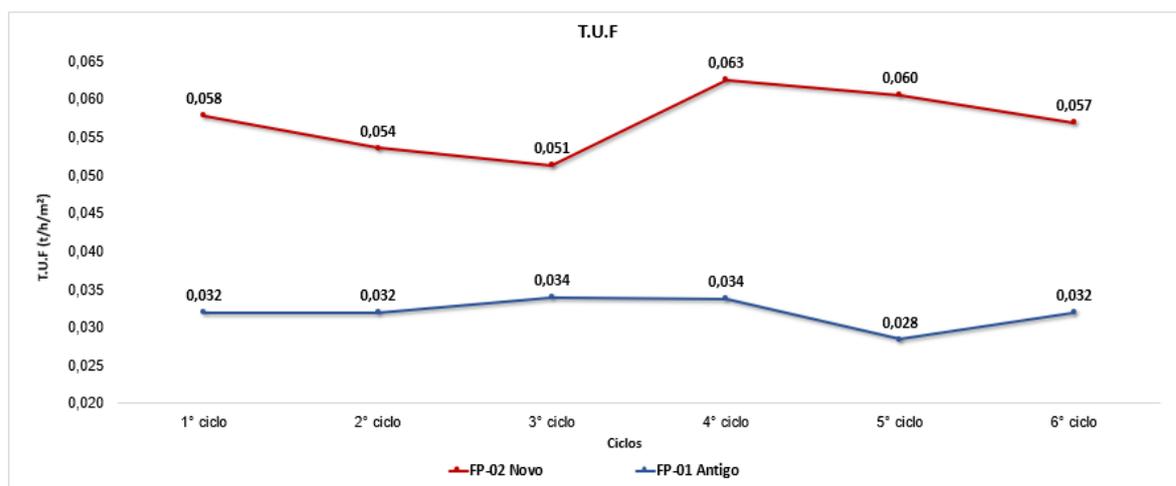
Fonte: dados da pesquisa.

5.3 RESULTADO DO TESTE INDUSTRIAL

Após instalado o tecido que melhor performou no teste piloto em todas as 129 placas do filtro industrial, foi realizado a medição da produtividade (t/h), T.U.F (t/h/m²), tempo de alimentação (min) e tempo total de ciclo (min) em seis ciclos. Dos resultados apresentados abaixo, a linha vermelha representa a performance do novo tecido e a linha azul representa a performance do tecido já utilizado pela mineradora.

Na Figura 16, percebe-se uma melhor performance do tecido novo em todos os seis ciclos. A TUF mínima medida dentro dos seis ciclos foi de 0,051 (t/h/m²) no tecido novo e de 0,028 (t/h/m²) no tecido padrão, enquanto a TUF máxima do tecido novo foi de 0,063 (t/h/m²) e o tecido padrão apresentou o resultado máximo de 0,034 (t/h/m²).

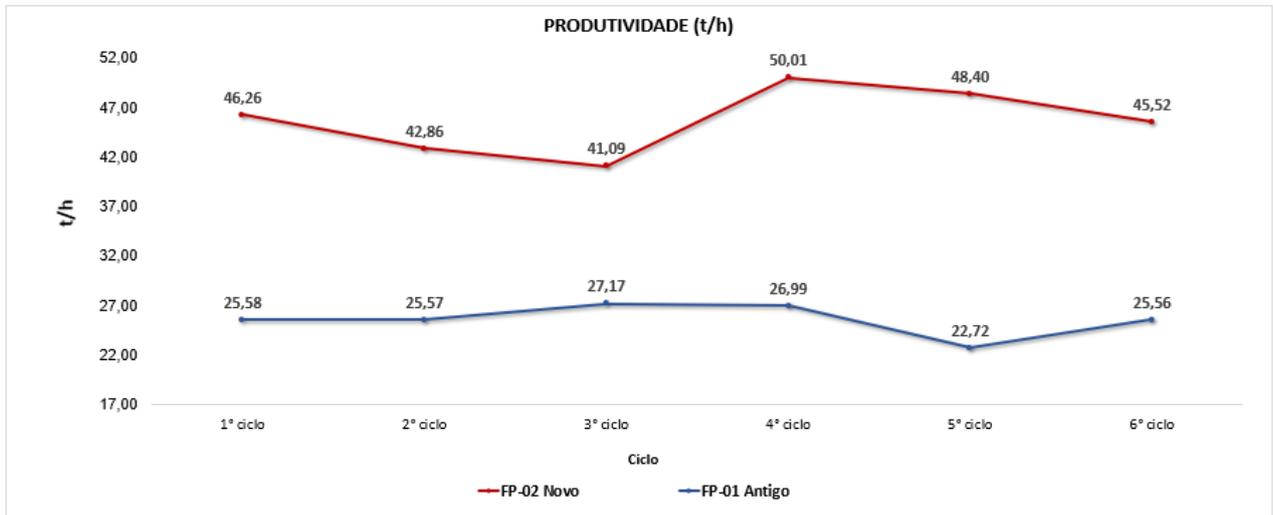
Figura 16 - Comparação da T.U.F entre o tecido novo e o tecido antigo



Fonte: dados da pesquisa.

A Figura 17 apresenta a produtividade em toneladas/hora de cada tecido filtrante. Nela é possível perceber que com o tecido novo a produtividade mínima alcançada foi de 41,09 (t/h) e máxima de 50,01 (t/h). No tecido padrão a produtividade mínima alcançada foi de 22,72 (t/h) e máxima de 27,17 (t/h).

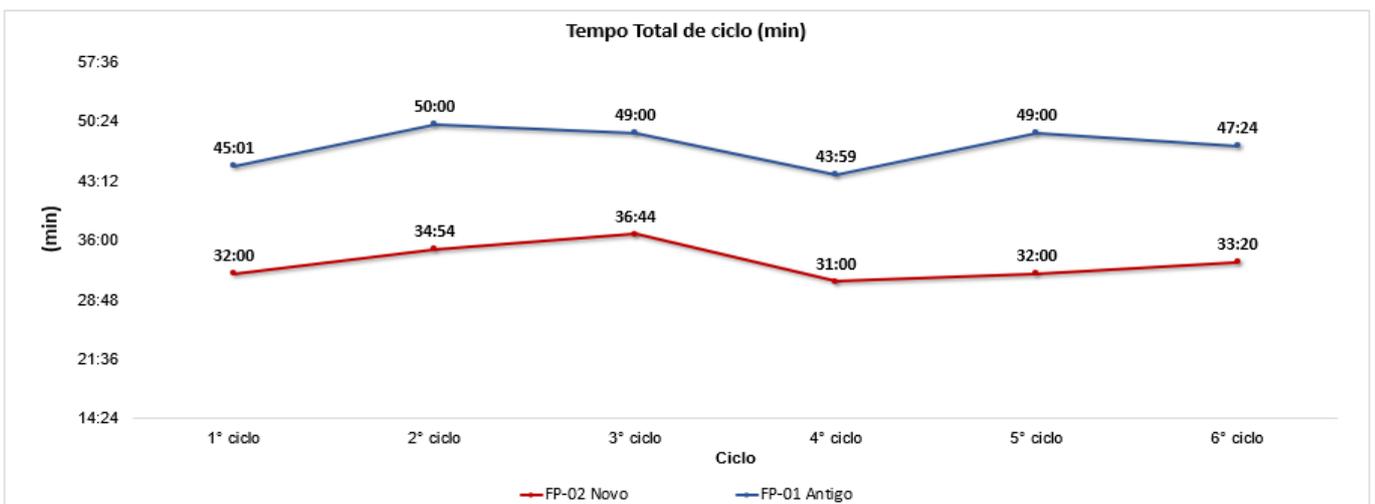
Figura 17 -- Comparação da produtividade entre o tecido novo e o tecido



Fonte: dados da pesquisa.

Na Figura 18 é possível verificar o tempo total de ciclo para os dois tecidos analisados. No tecido padrão o tempo máximo de ciclo foi de 50 minutos, enquanto no tecido novo o tempo máximo de ciclo ficou em 36,44 minutos. Já o menor tempo de ciclo no tecido padrão foi de 43,59 e o tecido novo apresentou 31 minutos, ambas no 4º ciclo.

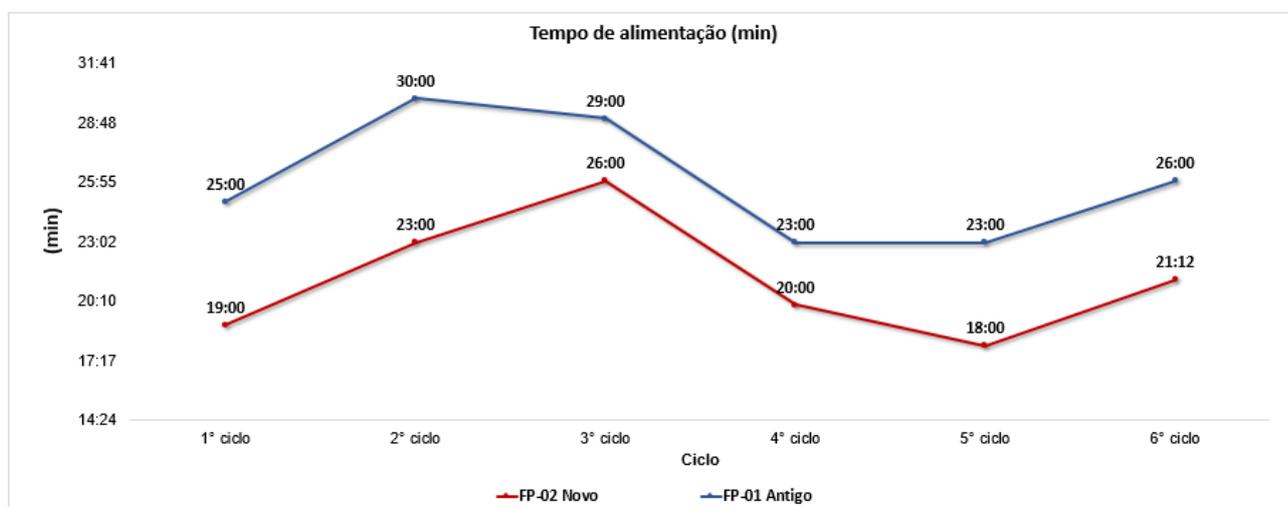
Figura 18 - Comparação do tempo total de ciclo entre o tecido novo e o tecido antigo



Fonte: dados da pesquisa.

No que se refere o tempo de alimentação, a Figura 19 demonstra que o tecido novo apresentou um tempo mínimo de alimentação de 18 minutos e máximo de 26 minutos, enquanto o tecido padrão apresentou um tempo mínimo de alimentação de 23 minutos e máximo de 30 minutos.

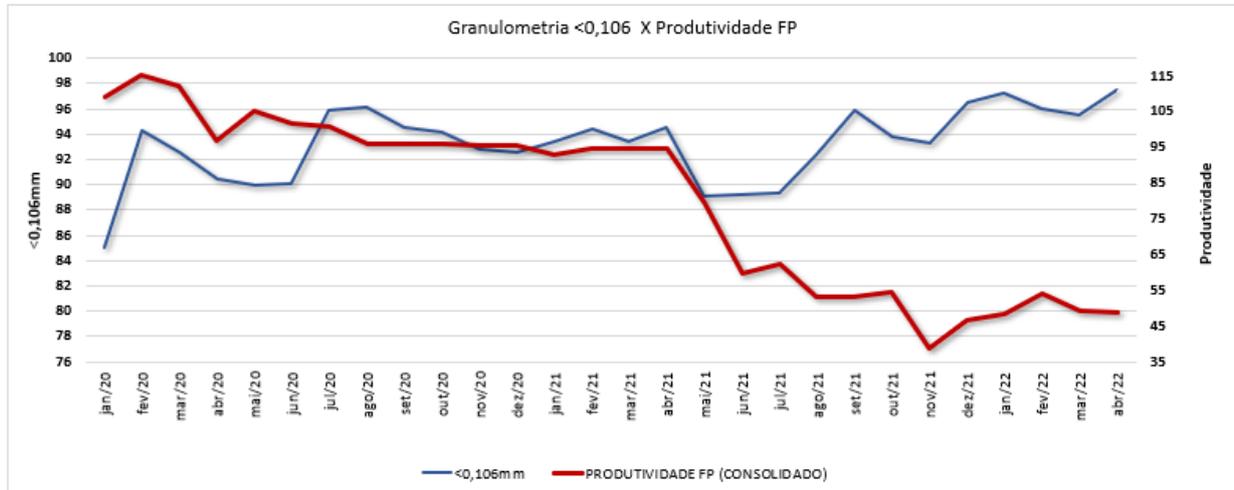
Figura 19 - Comparação do tempo de alimentação entre o tecido novo e o tecido antigo



Fonte: dados da pesquisa.

5.4 GRANULOMETRIA X PRODUTIVIDADE

As características mencionadas para o rejeito lama na coleta realizada no dia 23/03/2022 foi de 93,24% das partículas abaixo de 0,106mm. Vale salientar que a granulometria abaixo de 0,106 é toda a porcentagem de finos. Dessa forma, foi elaborado um gráfico comparativo de uma granulometria menor (<) 0,106, e como ela impacta na produtividade, representada pelo Gráfico.



Fonte: dados da pesquisa.

Com um leve aumento na porcentagem de material abaixo de 0,106mm ocorre uma diminuição da produtividade. Dessa maneira, a solução encontrada pela mineradora foi abrir mais a trama do tecido (meio filtrante). Com isso, obteve-se aumento da produção devido a produtividade do filtro.

Podemos perceber que polpas de minério com granulometria fina obstruí os macroporos do meio filtrante ao contrário de polpas constituídas por minério com granulometria mais grosseira. Quanto maior a densidade e mais grossa a granulometria dos cristais contidos na torta, serão maiores a razão e a velocidade de filtração e menor a umidade do torta.

Um bom meio filtrante deverá garantir a mínima propensão ao cegamento, ou seja, a obstrução dos poros pelas partículas sólidas, assim, a capacidade de manter as partículas sólidas sobre os poros a partir do início da formação da torta, apresentando ainda a resistência ao ataque químico, resistência mecânica, resistência ao desgaste, maleabilidade para se adaptar ao filtro e custo compatível com a economia da operação.

Mesmo que fosse possível controlar todas as variáveis operacionais do processo de filtração, as características intrínsecas do minério ainda serão responsáveis por trazer impactos significativos no processo de filtração. Tais variáveis estão relacionadas com a composição mineralógica do minério de ferro (alto teor de ferro), a área superficial específica, perda por calcinação, porosidade e forma das partículas, granulometria, são determinantes para o desempenho do filtro.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar os tipos meios filtrantes, de forma a melhorar o desempenho e produção. Para alcançar o objetivo proposto foi realizado um estudo de caso em uma mineradora, ao comparar dados obtidos em um teste piloto com teste industrial utilizando um novo tipo de tecido com uma abertura de trama maior, visto que o material apresenta 93,24% menor que 0,106mm e em média 36% de teor de ferro, que conseqüentemente impactam na performance da filtragem.

Ao realizar o teste piloto, o tecido de poliamida monofilamento de referência 4 apresentou um melhor desempenho. Tal escolha pode ser justificada pelos seguintes resultados: o rejeito lama filtrou bem e rapidamente atingiu a espessura de torta de 20 mm; o volume do filtrado foi de 54ml; tecidos de monofilamento tendem a garantir por um número bem maior de ciclos a estabilidade do ciclo; e no teste de lavagem os tecidos de monofilamento apresentaram melhores resultados.

Ao realizar o teste industrial, foram avaliados os parâmetros de TUF, produtividade, tempo total de ciclo e tempo de alimentação, ao utilizar o tecido antigo (polipropileno) e o tecido novo (poliamida). Em síntese, o tecido novo (poliamida) obteve uma melhor performance em todos os parâmetros ao ser comparado com o tecido antigo (polipropileno). A produtividade aumentou em média 57,55%, o tempo total de ciclo diminuiu em média 14 minutos, o tempo de alimentação reduziu, em média, 5 minutos e a TUF aumentou, em média, 58,18%.

Assim, após aumentar a abertura da trama do tecido e mudar a fibra do tecido que antes era de polipropileno e passou a ser de poliamida, a mineradora conseguiu uma melhor performance na filtragem aumentando a sua produtividade e T.U.F e, diminuindo o tempo total de ciclo e o tempo de alimentação. Como consequência, também foi possível aumentar a capacidade de produção da planta sem interferências de parada na filtragem.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016.

BERALDO, José Luiz. **Moagem de minérios em moinhos tubulares**. 1.ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1987. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/371580749/Moagem-de-Minerios-Em-Moinhos-Tubulares-Beraldo-1987>. Acesso em: 18 abr. 2022.

CARVALHO, Pedro Sergio Landim; SILVA, Marcelo Machado da; ROCIO, Marco Aurélio Ramalho; MOSZKOWICZ, Jacques. Minério de Ferro. **BNDS Setorial**, p. 197-234, 2014. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4802/1/BS%2039%20min%c3%a9rio%20de%20ferro_P.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.

CASTRO, Caio Torres de. **Proposta de redução da variabilidade do teor de ferro na alimentação do primeiro estágio da concentração magnética através da metodologia Lean Seis Sigma**. 2021. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3195/6/MONOGRRAFIA_PropostaRedu%C3%A7%C3%A3oVariabilidade.pdf. Acesso em: 03 maio 2022.

CAXITO, Fabrício; DIAS, Tatiana Gonçalves. **Ferro**. Recursos Minerais de Minas Gerais RMMG, 2018. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/ferro/#o-quadril%C3%A1tero-ferr%C3%ADfero>. Acesso em: 22 abr. 2022.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antônio Eduardo Clark. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. São Paulo: Signus, 2003.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GHAURI, Pervez; GRONHAUG, Kjell; KRISTIANSLUND, Ivar. **Research methods in business studies: a practical guide**. [S.l.]: Prentice Hall, 1995.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GUIMARÃES, Nilton Caixeta. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando à sua disposição em pilhas**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: UFMG 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8MTF32/1/disserta_o_filtragem_de_rejeitos_de_min_rio_de_ferro_visand.pdf. Acesso em: 05 maio 2022.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador L. M. de. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2042>. Acesso em: 20 abr. 2022.

LUZ, Adão Benvindo; LINS, Fernando A. Freitas. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/712/3/CCL00220010.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

OLIVEIRA, Maria Lúcia M. de Oliveira; LUZ, José Aurélio Medeiros da; LACERDA, Carla Maria Mendes. **Espessamento e filtragem**. Ouro Preto: Ministério da Educação – Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/apostila_ufop.pdf. Acesso em: 05 maio 2022.

OLIVEIRA, Maria Lúcia Magalhães de; LUZ, José Aurélio Medeiros. **Curso de Espessamento e Filtragem**. Apostila, 2007.

.

RODRIGUES, Karine Fernandes; RODRIGUES, Otávia Martins Silva; DE SOUZA RODRIGUES, Rafael. INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO PELLET FEED DE MINÉRIO DE FERRO NA ETAPA DE FILTRAGEM. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 16, n. 2, p. 239-245, 2019. Disponível em: <https://www.tecnologiammm.com.br/article/10.4322/2176-1523.20191725/pdf/tmm-16-2-239.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SANTOS, Francislaine Araújo dos. **Atores, recursos, contextos e políticas de apoio à economia mineral do Rio Grande do Norte**: estudo de caso da ascensão e declínio da Mina Brejuí no município de Currais Novos. 2021. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38032/1/AtoresRecursosContextos_Santos_2021.pdf. Acesso em: 05 jun. 2022.

SANTOS, Lorena Ribeiro dos. **Dimensionamento de espessador: validação das técnicas de coe e clevenger, talmage e Fitch e oltmann**. 2018. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, Araxá, 2018. Disponível em: <https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Lorena-Ribeiro-dos-Santos.pdf>. Acesso em: 05 maio 2022.

SILVEIRA, Bruno Augusto Vilaça da. **Análise do desempenho dos filtros prensa de uma empresa de minério de ferro do quadrilátero ferrífero**. 2021. 67f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/3200>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SOUZA, Natasha Almeida Fernandes de. **Análise crítica de rotas de processamento de minérios de ferro itabiríticos**. 2010. 122 f. Projeto (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003574.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

TAKEHARA, Lucy. **Caracterização Geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros-fração *sinter feed***. 2004. 421 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/362/1/tese_lucytakehara.pdf. Acesso em: 18 abr. 2022.

TAVARES, Luís M. M. **Apostila Processamento de Recursos Minerais I**, 2009.

USGS – Science for a changing world. **Iron Ore Statistics and Information**, 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/iron-ore-statistics-and-information>. Acesso em: 29 abr. 2022.

VILELA NETO, Gil Ribeiro. **Maximização do desaguamento dos rejeitos minerais gerados e a concentração do minério de ferro**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AC8GQX/1/maximiza__o__do__desaguamento__de__rejeitos__minerais__gerados__pela__concentra__o__do__min__rio__de__ferro.pdf. Acesso em: 04 maio 2022.