



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



THIAGO VIANA NEVES

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA “*RUN TO FAILURE*” PARA TROCAS
PONTUAIS DE ELEMENTOS FILTRANTES EM FILTROS DE DISCO PARA
REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO**

OURO PRETO
2021

THIAGO VIANA NEVES

AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA “*RUN TO FAILURE*” PARA TROCAS PONTUAIS
DE ELEMENTOS FILTRANTES EM FILTROS DE DISCO PARA REJEITOS DE
MINÉRIO DE FERRO

Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Tratamento de Minérios.

Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Otávia Martins Silva Rodrigues

OURO PRETO

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N513a Neves, Thiago Viana.

Avaliação da metodologia "run to failure" para trocas pontuais de elementos filtrantes em filtros de disco para rejeitos de minério de ferro. [manuscrito] / Thiago Viana Neves. - 2022.

19 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. Beneficiamento de minério. 2. Barragens de rejeitos. 3. Minérios de ferro - Filtragem de rejeitos. I. Rodrigues, Otávia Martins Silva. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.794



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezoito dias do mês de janeiro de 2022, às 13h30min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Thiago Viana Neves** matrícula: 16.1.1398, intitulado: “**AValiação DA METODOLOGIA “RUN TO FAILURE” PARA TROCAS PONTUAIS DE ELEMENTOS FILTRANTES EM FILTROS DE DISCO PARA REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO**”, perante comissão avaliadora constituída pela orientadora do trabalho Prof.^a Dr.^a Otávia Martins Silva Rodrigues, Prof. Dr. José Fernando Miranda, e Químico Industrial Leandro Rodrigues de Lima. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, a presidente da comissão examinadora concedeu ao discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, a presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas ao candidato sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro o Prof. Dr. José Fernando Miranda, segundo, o Químico Industrial Leandro Rodrigues de Lima e em último, a Prof.^a Dr.^a Otávia Martins Silva Rodrigues. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, a presidente solicitou ao discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão do discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que o discente foi **..aprovado....** por unanimidade, com a nota **....9,0.....** (**....nove.....**). O discente, por sua vez, encaminhará para o Repositório Institucional da UFOP, no prazo máximo de 15 dias, uma versão final, contemplando todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pela presidente da comissão.

Ouro Preto, 18 de janeiro de 2022.

Presidente: Prof.^a Dr.^a Otávia Martins Silva Rodrigues

Membro: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Membro: Químico Industrial Leandro Rodrigues de Lima

Discente: Thiago Viana Neves

Dedico este trabalho à minha família, e a todos aqueles que envidam seus esforços por uma sociedade melhor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar, dar forças, e ser sinal constante de graças em minha vida, e a Maria Santíssima por sempre me cobrir com seu santo manto.

Aos meus pais Creuza e Sérgio, por todo incentivo, sustento, amor e confiança neste período e em toda vida, e por todo investimento em uma educação sólida e de qualidade.

À minha irmã Maria Clara, por ser companheira, compreensiva, e curiosa no dia a dia para aprender e evoluir.

À Thaiany, pelo amor, carinho, constante apoio, compreensão e força nesta caminhada.

A todos os meus familiares, por meio de meus avós Efigênia, Celso (*in memoriam*), Elza e Milton, por todo o incentivo.

Às famílias Inácio e Oliveira, pelo acolhimento, amizade e incentivo.

À Samarco Mineração, por abrir as portas para que eu desenvolvesse minha carreira profissional, e por buscar constantemente uma mineração diferente.

Aos engenheiros Thales Nascimento e Marcos Cunha, pelos ensinamentos, amizade, e direcionamento nos estudos e dia a dia de trabalho.

Aos operadores e técnicos da Filtragem da Samarco, por todo conhecimento compartilhado, parceria, confiança, e abertura diária.

Ao engenheiro Daniel Dimas de Oliveira, por sua disponibilidade, e ser peça essencial para que este trabalho tenha “saído do forno”, realizando análises, trocando ideias, e sendo também um grande orientador.

A toda equipe da Gerência de Beneficiamento da Samarco, por todas as oportunidades de desenvolvimento profissional e pessoal, e por toda a confiança depositada em mim.

A todos os amigos e amigas, pelo apoio incondicional, parceria, histórias e alegrias por todos esses anos.

À Seminas, à OAEM, à Cantaria e todas as entidades e projetos da Escola de Minas que tive a honra de participar durante a graduação.

À Minera Jr. e todo o MEJ por me desafiar, e proporcionar experiências únicas e inesquecíveis. Avante, Minera!

À Fundação Gorceix por todo o apoio, oportunidades e incentivo, e à Quartzito do Brasil por abrir suas portas e me conceder inúmeros aprendizados.

Ao professor José Margarida da Silva por me conceder a oportunidade de ser monitor em suas duas disciplinas, e pela amizade durante a graduação.

À professora Francielle Nogueira e ao professor Carlos Alberto Pereira, por cada oportunidade concedida desde o início da graduação, pela amizade, cafezinhos e boas tardes de conversa.

À professora Otávia Martins Silva Rodrigues, pela orientação deste trabalho, disponibilidade e interesse.

Ao DEMIN, UFOP e à Escola de Minas de Ouro Preto, por meio de seus técnicos, funcionários terceirizados, professores e alunos, por todo conhecimento técnico, social e profissional repassados, e por todos os momentos, amigos e histórias que levarei por toda a vida.

Enfim, agradeço ao POVO BRASILEIRO, que por meio de sua luta diária investe na educação pública, gratuita, e de qualidade, que é a fundação da grandeza de nosso país.

*“Estude. Trabalhe. Persista. Faça mais do que as
pessoas esperam de você.”*

(Astronauta Marcos Pontes)

RESUMO

Em vista dos recentes eventos de rompimentos de barragens em Minas Gerais, a Samarco Mineração instalou na Unidade de Germano uma planta de filtragem de rejeitos, visando dispô-los em pilhas, para maior controle geotécnico. Um item de suma importância para a qualidade da separação sólido-líquido em filtros é o elemento filtrante, que para o modelo adotado neste estudo, é comumente chamado de “tecido”. O presente trabalho buscou destacar a eficiência da metodologia “*run to failure*” para troca destes elementos, obtendo resultados significativos sob a ótica a gestão de processos, ativos e finanças onde, é possível citar que a estratégia utilizada apresentou um custo menor do que a metodologia de troca geral e do que o ponto de troca apresentado pela equipe de gestão de ativos, sendo da ordem de 54,48% e 39,31% de investimento evitado, respectivamente. Observou-se também que, para um contexto onde a planta é requerida ao máximo, é válido manter uma análise contínua para verificar a manutenção da eficiência da metodologia utilizada.

PALAVRAS-CHAVE: Filtragem de rejeitos. Barragens. Minério de ferro. Elemento filtrante. Filtro a disco. Redução de custo. Aumento de eficiência.

ABSTRACT

In view of recent events of dam failures in Minas Gerais, Samarco Mineração installed a tailings filtering plant at the Germano Unit, in order to arrange them in piles for greater geotechnical control. An item of paramount importance for the quality of solid-liquid separation in filters is the filtering element, which for the adopted model is commonly called “fabric”. The present work sought to highlight the efficiency of the “run to failure” methodology for exchange these elements, obtaining significant results from the perspective of management of processes, assets and finances where, it is possible to mention that the strategy used presented a lower cost than the general exchange methodology and than the exchange point presented by the asset management team, being in the order of 54.48% and 39.31 % of investment avoided, respectively. It was also observed that for a context where the plant is required to the maximum, it is valid to maintain a continuous analysis, to verify the maintenance of the efficiency of the methodology used.

KEYWORDS: Tailings filtering. Dams. Iron ore. Filter element. Disc filter. Cost reduction. Efficiency increase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão macro da rota de processos dos rejeitos na Samarco Mineração.....	2
Figura 2 - Componentes estruturais de um filtro de disco a vácuo.....	3
Figura 3 - Zonas de um filtro de disco.	5
Figura 4 - Fluxograma da Planta de Filtragem de rejeitos da Samarco Mineração.....	6
Figura 5 - Tecido utilizado na Samarco Mineração.	9
Figura 6 - Lógica de cálculo da vida útil por elemento filtrante.....	10
Figura 7 - Lógica de análise por meio do Relia Soft Weibull++.....	10
Figura 8 - Curva da banheira.....	11
Figura 9 - Vida útil ao longo dos meses.	12
Figura 10 - Resultados das análises de Confiabilidade: Confiabilidade versus tempo.	13
Figura 11 - Resultados das análises de Confiabilidade: Taxa de falha versus tempo.	14
Figura 12 - Comportamento da TUF ao longo dos meses.	15
Figura 13 - Umidade ao longo dos meses.....	15
Figura 14 - Percentual de sólidos ao longo dos meses.....	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre as metodologias "Troca Geral" e "Run to failure".....	8
Tabela 2 - Comparativo entre sugestões de pontos de troca.....	16

LISTA DE SIGLAS

ES - Espírito Santo.

MES - *Manufacturing Execution Systems*.

Kgf – quilograma força.

cm – centímetros.

GGA - Gerência de Gestão de Ativos.

MTTF - *Mean Time Between Failures*.

TUF – Taxa unitária de filtragem, dada em toneladas produzidas por horas efetivas operadas por metros quadrados de filtragem utilizados para filtração. (Vasconcelos, 2019).

tms – toneladas métricas secas. Unidade de medida utilizada para calcular a massa, descontando-se a umidade presente no valor medido.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa e relevância	3
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 Filtragem	5
3.2 Planta de Filtragem de rejeitos da Samarco Mineração S/A	6
4 MATERIAL E MÉTODOS	8
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	12
6 CONCLUSÕES	16

1 INTRODUÇÃO

O setor mineral, em especial em Minas Gerais, vivenciou nos últimos anos eventos catastróficos, que ocasionaram impactos na vida de toda a sociedade, nas empresas deste nicho e nos processos por elas executados. Tais eventos geraram grande resistência ao uso de barragens para disposição de rejeitos, provocando diversos estudos, fazendo com que alternativas a esse método passassem do status de “possíveis” para “necessárias”.

Em vista desse contexto, como resposta à sociedade e buscando maior respaldo às operações, diversas ações foram implementadas nos empreendimentos mineiros, como a readequação dos processos, com enfoque na redução da geração de rejeitos e também buscando formas de disposição mais seguras e mais sustentáveis, de acordo com as condições de espaço, mineralogia e operação de cada empresa.

Após o rompimento da estrutura do barramento de Fundão, a Samarco Mineração foi obrigada a criar alternativas para lidar com os rejeitos provenientes do processamento mineral de suas atividades. Várias formas de disposição dos rejeitos foram avaliadas, buscando uma retomada operacional segura e sem uso de barragens. Após cerca de três anos de estudos, foi definida uma rota de processos, visualizada de forma simplificada na figura 1, como a alternativa mais segura sob o ponto de vista ambiental e geotécnico.

Figura 1 - Visão macro da rota de processos dos rejeitos na Samarco Mineração.

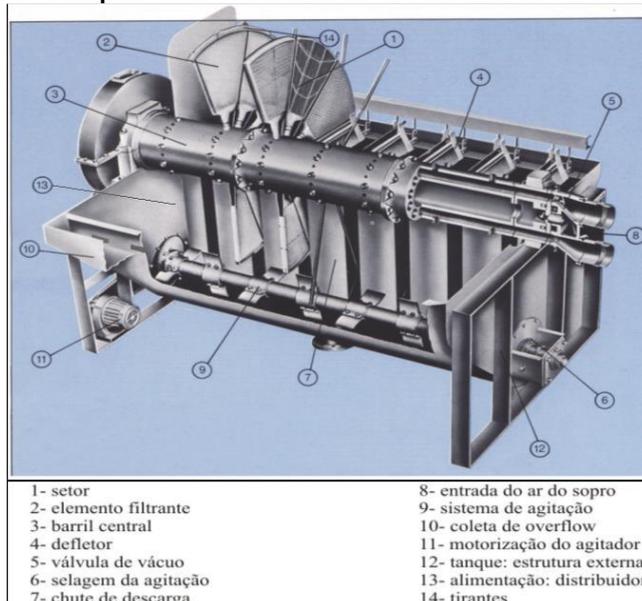


Fonte: Site da Samarco Mineração.

Essa rota proposta envolve a retomada da água sobrenadante na Cava de Alegria Sul, e, posteriormente, o tratamento do rejeito arenoso, com seu desaguamento e disposição em pilhas de rejeitos secos.

No processo de tratamento do rejeito “arenoso”, os filtros são os protagonistas da tecnologia de secagem do material a ser disposto nas pilhas. Dentro do contexto da Samarco Mineração são utilizados filtros de disco a vácuo, que possuem sua macroestrutura segmentada a partir de uma “árvore”, que é a base para os diversos discos, que são separados em setores, sendo estes envoltos um a um por um elemento filtrante, fabricado conforme as especificidades do processo (Amarante, 2002). A figura 2 apresenta os diversos itens que compõem um filtro a disco.

Figura 2 - Componentes estruturais de um filtro de disco a vácuo.



Fonte: Amarante, 2002.

Devido ao aumento do uso de filtros à vácuo utilizando tecidos (nomenclatura comum na rotina operacional de várias plantas, se referindo ao elemento filtrante) e tendo ciência da grande importância da definição de uma estratégia para as trocas dos mesmos, observou-se que existem poucas referências sobre o assunto e, assim, desenvolveu-se o presente trabalho visando avaliar e divulgar as boas práticas industriais ligadas à filtragem de rejeitos, aumentar o conhecimento acerca do assunto e dar embasamento para que a Samarco Mineração e outras empresas e profissionais interessados possam estabelecer a estratégia mais adequada para troca dos elementos filtrantes, de acordo com seu contexto operacional.

Observando o cenário apresentado, a avaliação proposta envolveu estudos do ponto de vista da operação e da manutenção dos equipamentos com enfoque nos elementos filtrantes, incluindo estudos de confiabilidade, bem como das análises econômicas na planta de filtragem de rejeitos da Unidade de Germano da Samarco Mineração, possibilitando entender a performance dos filtros frente à estratégia adotada.

1.1 Justificativa e relevância

O estudo sistematiza as estratégias de troca de elementos filtrantes em filtros de disco, podendo ajudar nas programações de manutenção, na redução do consumo dos próprios elementos, propiciando aumento da eficiência dos processos e de investimentos conscientes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho se ocupou, de forma geral, em avaliar a metodologia “*run to failure*”, utilizada na troca de elementos filtrantes na Planta de Filtragem de rejeitos da Samarco Mineração S/A.

2.2 Objetivos específicos

- i. Sistematizar as diferentes metodologias de troca de elementos filtrantes.
- ii. Analisar a metodologia utilizada do ponto de vista financeiro, de processos e de manutenção.
- iii. Avaliar a continuação ou não da utilização da metodologia “*run to failure*” na Planta de Filtragem de rejeitos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este tópico apresenta uma revisão da literatura relacionada aos temas relevantes ao entendimento dessa pesquisa, onde são apresentados os conceitos e avaliados os trabalhos já realizados sobre a questão de filtragem de rejeitos de minério de ferro.

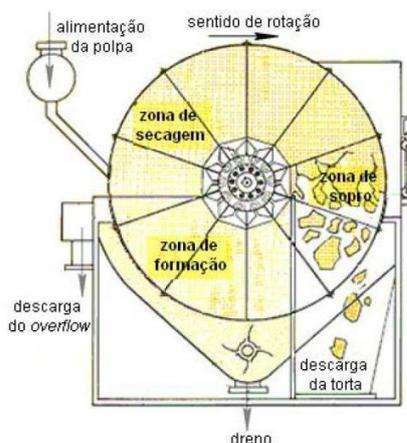
3.1 Filtragem

Pode-se definir como filtragem a operação unitária, onde uma solução aquosa que contém material sólido, ultrapassa um meio filtrante, que por sua vez realiza a separação das duas fases, retendo as partículas sólidas, e permitindo a passagem do fluido aquoso. As partículas retidas formam a torta, e a água passante é chamada de filtrado. (Valadão, 2008 e Rodrigues, 2021)

Diante dessa conceituação, a Samarco utiliza em sua Planta de Filtragem filtros de disco a vácuo, que apresentam grande área de filtragem disponível, frente ao seu tamanho físico dentro da área operacional.

Estes filtros possuem três zonas principais, (figura 3), destacando a zona de formação da torta, onde a polpa presente na bacia se adere ao elemento filtrante por meio do vácuo; a zona de secagem e, por fim, a zona de descarte (ou de sopra). O tempo total de rotação do disco de filtragem é chamado de ciclo, e compreende os diversos tempos gastos por zona de filtração.

Figura 3 - Zonas de um filtro de disco.



Fonte: Carvalho, 2002.

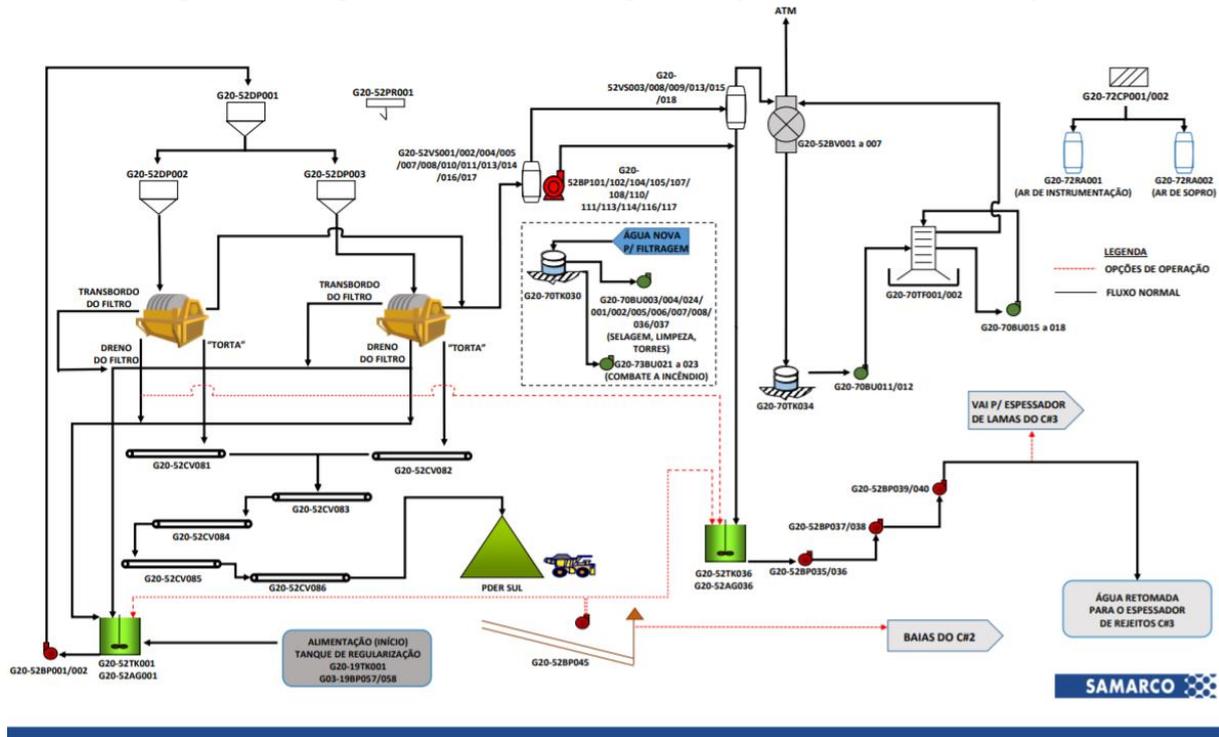
Um dos pontos cruciais na operação da filtragem é a troca precisa do elemento filtrante, já que com o passar das horas de rodagem do equipamento há uma

tendência progressiva dos mesmos terem seus poros obstruídos, o que é tratado até certo ponto com lavagem em alta pressão. Desta forma, o objetivo da troca do elemento filtrante é sempre obter a permeabilidade adequada, bem como a retenção de sólidos, com a resistência mecânica suficiente e durabilidade ideal (não “cegar”). (Guimarães, 2011)

3.2 Planta de Filtragem de rejeitos da Samarco Mineração S/A

A planta de filtragem de rejeitos da Samarco Mineração S/A se constitui atualmente de um complexo circuito, contando essencialmente com seis filtros de disco a vácuo, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da Planta de Filtragem de rejeitos da Samarco Mineração.



Fonte: Acervo do autor.

Visando reduzir o CAPEX do “Projeto Filtragem”, seis filtros, que antes eram utilizados na preparação do *pellet feed* para a pelletização na Unidade de Ponta Ubu (ES), foram trasladados para a Unidade de Germano (MG), para exercerem essa nova função. Devido à esta nova aplicação dos equipamentos, diversos componentes foram desenvolvidos, especificamente para o tratamento com rejeitos, visando reduzir o impacto da abrasividade inerente do material.

Como parte da adaptação operacional dos equipamentos e das pessoas à nova operação unitária, realizou-se um processo de comissionamento onde aos poucos

foram sendo executadas as montagens dos filtros, os testes com água e, por fim, os testes com polpa arenosa de forma a refinar o processo.

Frente aos desafios e aprendizados colhidos, teve início a operação de fato da planta em dezembro de dois mil e vinte. O *ramp up* foi recorde, sendo que a operação se estabilizou em poucos meses, bem antes dos doze meses esperados, evidenciando o sucesso do projeto com performances não esperadas em projeto.

Tendo em vista o sucesso da filtração a disco para o rejeito arenoso, a Samarco, vislumbrando o retorno das atividades do segundo concentrador está atualmente trabalhando na futura expansão da Filtração. Esta é considerada uma etapa de vital importância para a sobrevivência da empresa e um grande desafio futuro para as operações integradas, denominadas “da mina ao porto”.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Considerando que os tecidos componentes dos filtros são de extrema importância no processo de filtragem e, a fim de comparação, foram estudadas as metodologias de “troca geral” e a “*run to failure*”. A primeira metodologia, a de troca geral, que é empregada na Unidade da Samarco em Ponta Ubu (ES), ocorre quando se chega à vida útil pré-determinada do elemento (definida em projeto), momento onde são trocados todos os elementos filtrantes em uma única parada. Para este trabalho, destaca-se que esta metodologia foi estudada conforme o projeto inicial da planta, além de uma comparação realizada pela equipe da Gestão de Ativos.

Já a segunda metodologia, que é aplicada na unidade Germano, consiste em levar o elemento filtrante até a sua máxima capacidade de operação (até a falha), possibilitando a ocorrência de uma falha minimamente prevista, que não prejudique a operação do sistema. Este último método, da forma como é empregado, provoca a realização de trocas pontuais em elementos danificados ou com operacionalidade comprometida, não se efetuando substituição de todos os tecidos de um mesmo filtro ou de toda a planta ao mesmo tempo.

Para entendimento de alguns aspectos de ambas as metodologias, a tabela 1 demonstra um comparativo entre alguns aspectos das mesmas.

Tabela 1 - Comparativo entre as metodologias "Troca Geral" e "Run to failure".

Troca Geral	Run to failure
Programação de troca mais assertiva.	Ponto de troca varia ligeiramente.
Performance pouco variável.	Possibilidade controlada de desvios de processo.
	Retorno dos pareceres dos avaliadores para os autores
Maior custo em OPEX com elementos filtrantes.	Menor OPEX com elementos filtrantes.
Ativos ainda úteis podem ser descartados.	Aproveitamento máximo do ativo.

Contextualizando o cenário operacional da Unidade de Germano, a planta de filtragem de rejeitos foi um projeto que teve seu início de operação em dezembro de 2020, com *ramp up* em tempo recorde. A operação dispõe de seis filtros de disco a vácuo da FLSmidth, modelo Agidisc® Ø 8'-10" x 12 discos, sendo que cada disco é composto por dez setores que, individualmente, são cobertos por um elemento filtrante (tecido ou saco filtrante).

Para este estudo o tecido utilizado foi da marca Casfil, composto de fibra de poliamida com fio monofilamento, tendo sua contextura em cetim. A gramatura é da ordem de 425g/m², com espessura de 0,60mm. Seu acabamento é do tipo termo fixado/calandrado, tendo como parâmetros de resistência a tração mínima (Kgf/5cm) 300 na longitudinal e 150 na transversal. Seu alongamento máximo é de 36% na longitudinal e 50% na transversal, com estabilidade dimensional de 2,1% na longitudinal e 1,4% na transversal. Além destes parâmetros, vale destacar que o elemento filtrante possui fechamento com velcro na sua parte superior com reforço lateral além de outra vedação, também em velcro, na parte inferior (conexão com o barril central), conforme ilustra a figura 5.

Figura 5 - Tecido utilizado na Samarco Mineração.



Fonte: Acervo do autor.

A fim de monitorar a vida útil dos elementos e outros parâmetros, elaborou-se um sistema de controle de processo específico, que abrange os principais parâmetros operacionais e de manutenção como: taxa unitária de filtragem, umidade da “torta”, percentual de sólidos no filtrado, utilização física e rendimento operacional do sistema, entre outros, além do controle de trocas dos elementos. A cada troca realizada o (a) operador (a) insere as posições trocadas em formulário *online*, que alimenta um banco de dados que é tratado mensalmente para aferição das informações.

Além do controle de trocas de tecidos, são realizadas inspeções operacionais duas vezes ao dia, avaliando o alinhamento dos discos, o aperto de porcas e similares, a vedação dos setores, a distância disco-defletor, as canaletas de descarga, os números de setores sobressalentes, etc.

A partir dos dados inseridos no formulário *online* de controle de trocas e da filtragem das horas operadas por filtro utilizando o software MES, é possível realizar

o cálculo de vida útil média dos elementos filtrantes, sendo este cálculo obtido através do raciocínio exposto na figura 6.

Figura 6 - Lógica de cálculo da vida útil por elemento filtrante.

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ real tecidos trocados}}{120} = \frac{\text{N}^\circ \text{ trocas gerais}}{\text{real}}$$

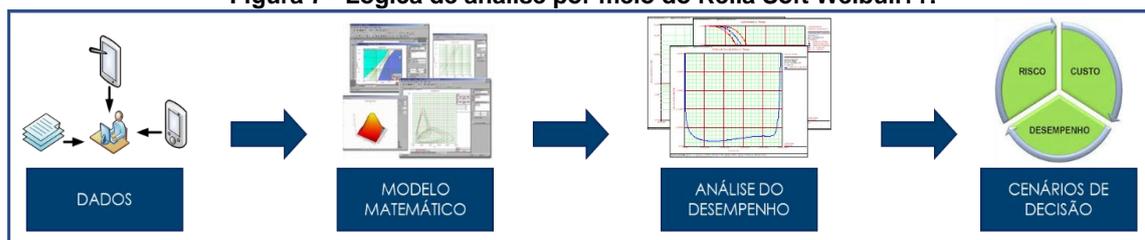
$$\frac{\text{Hrs. operadas por filtro}}{\text{N}^\circ \text{ trocas gerais real}} = \text{"VIDA ÚTIL"}$$

Fonte: Acervo do autor.

Dentro do raciocínio exposto na figura acima, o “nº real tecidos trocados” é advindo do formulário online. O valor “120” é o número máximo possível de elementos filtrantes em cada filtro e a relação entre este valor e o número real de tecidos trocados gera o “número de trocas gerais”, que mostra o cenário onde seriam trocados todos os tecidos de uma só vez. As horas operadas por filtro são obtidas através do sistema supervisor da Sala de Controle da planta.

Para avaliar a confiabilidade dos dados e validar estatisticamente a estratégia “run to failure”, foi realizada análise com o auxílio do Software "Relia Soft Weibull++", baseado na curva Weibull de confiabilidade, sendo esta etapa iniciada a partir de um banco de dados com aproximadamente mil linhas de informações relativas a todas as trocas de tecidos desde o início da operação da planta. A figura 7 representa o fluxograma de análise.

Figura 7 - Lógica de análise por meio do Relia Soft Weibull++.



Fonte: De Oliveira, 2021.

No software a avaliação se pautou, de forma mais específica, no parâmetro “Beta”. A figura 8 ilustra que para valores de Beta (na figura ilustrado como gama) menores que 1 (um) o tecido estaria em “mortalidade infantil”, ou seja, entrando em modo de falha antes do esperado, o que é comum durante a etapa de *startup* e/ou comissionamento. Para Beta igual a 1 (um), o elemento estaria sendo trocado de forma natural durante a operação. Por fim, para valores de Beta maiores que 1 (um), tais como os obtidos neste estudo, o elemento estaria sendo trocado devido ao fim de

vida útil, evidenciando que as trocas estariam sendo feitas no momento em que o tecido chegasse à sua máxima capacidade de duração.

Figura 8 - Curva da banheira.

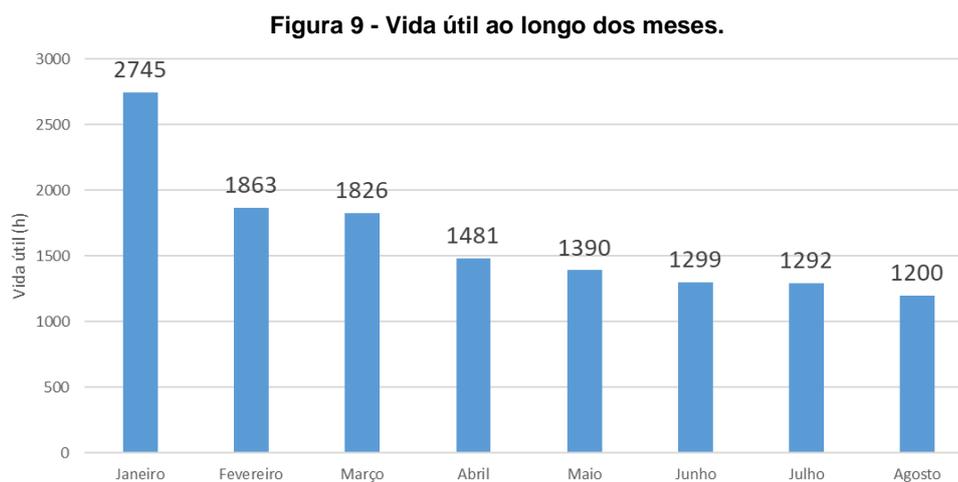


Fonte: Reis e Andrade, 2019.

No que tange a metodologia adotada no presente estudo, a última análise realizada foi de cunho financeiro, buscando comparar os três momentos possíveis de troca: o ponto ótimo citado pela análise de confiabilidade, o dado de projeto e a atual estratégia utilizada pela equipe operacional. Foram realizados comparativos com os dados obtidos até o momento do estudo e realizadas projeções num horizonte anual.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

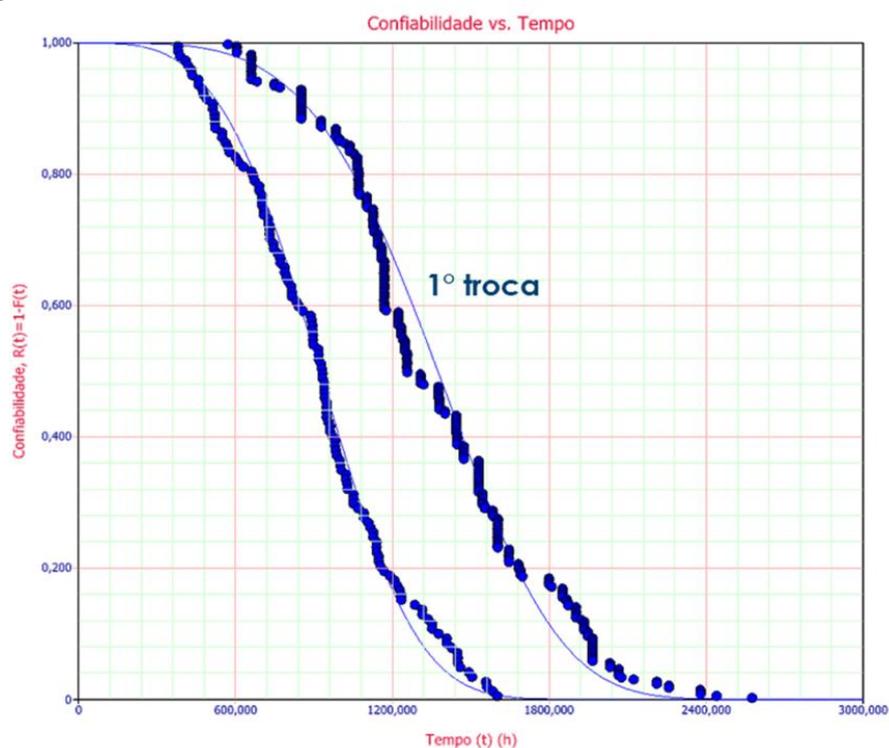
Observando-se o espaço temporal compreendido entre dezembro de 2020 e maio de 2021, foram realizadas cerca de 1000 trocas, com média de 158 elementos por mês. Em relação à vida útil dos elementos, foi possível observar que os valores iniciais, calculados a partir da lógica apresentada anteriormente na figura 6, indicavam média próxima a 1800 horas por elemento filtrante, valor que ao longo da operação foi decaindo conforme citado em literatura e, em meses subsequentes ao estudo, se aproximou de 1200 horas por elemento filtrante. É válido destacar uma tendência de estabilização da vida útil em torno de 1200 horas/elemento, mantendo-se as condições operacionais atuais. Os dados acerca da vida útil ao longo do tempo podem ser visualizados na figura 9.



Fonte: Acervo do autor.

Do ponto de vista da gestão de ativos, a figura 10 apresenta a confiabilidade da metodologia que foi empregada ao longo do tempo, apresentando que a partir da segunda troca há uma ligeira queda na confiabilidade, visualizada pelo descolamento entre as duas curvas do gráfico (primeira troca sendo a curva da direita, e segunda troca a curva da esquerda), que segundo comparativos internos é aceitável para operação.

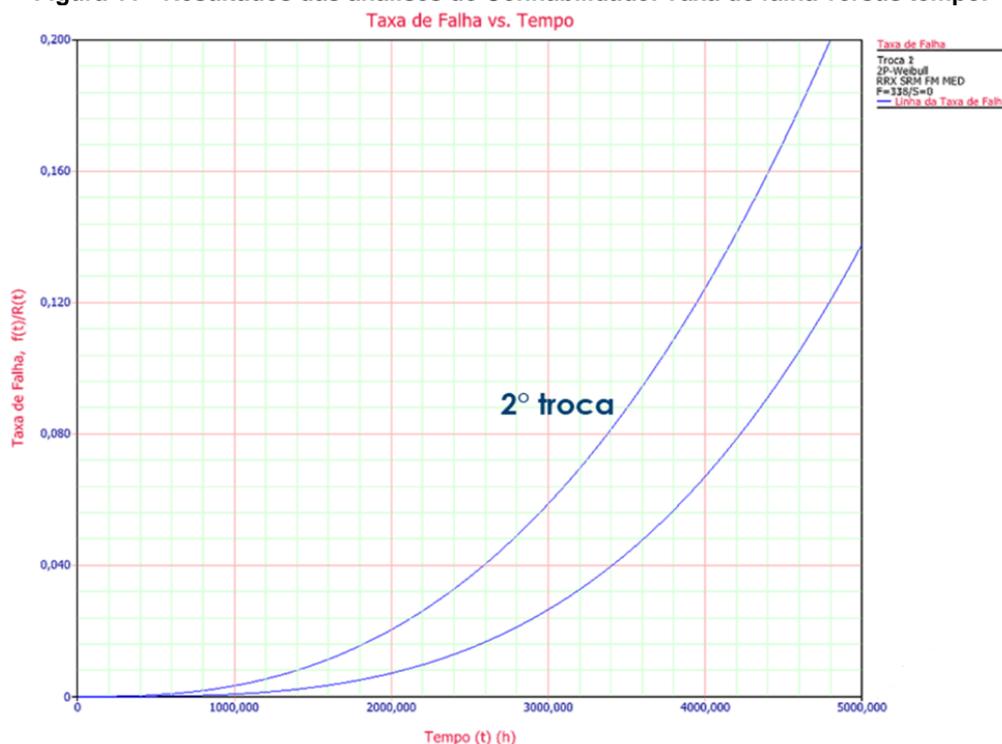
Figura 10 - Resultados das análises de Confiabilidade: Confiabilidade versus tempo.



Fonte: De Oliveira, 2021.

Já a figura 11, apresenta a taxa de falha ao longo do tempo, ilustrando que a partir da segunda troca (curva da esquerda) a vida útil dos elementos tende a diminuir, mas ainda assim chegando a um valor aceitável e acima do projetado que é de oitocentas horas, mantendo confiabilidade acima de 70%.

Figura 11 - Resultados das análises de Confiabilidade: Taxa de falha versus tempo.



Fonte: De Oliveira, 2021.

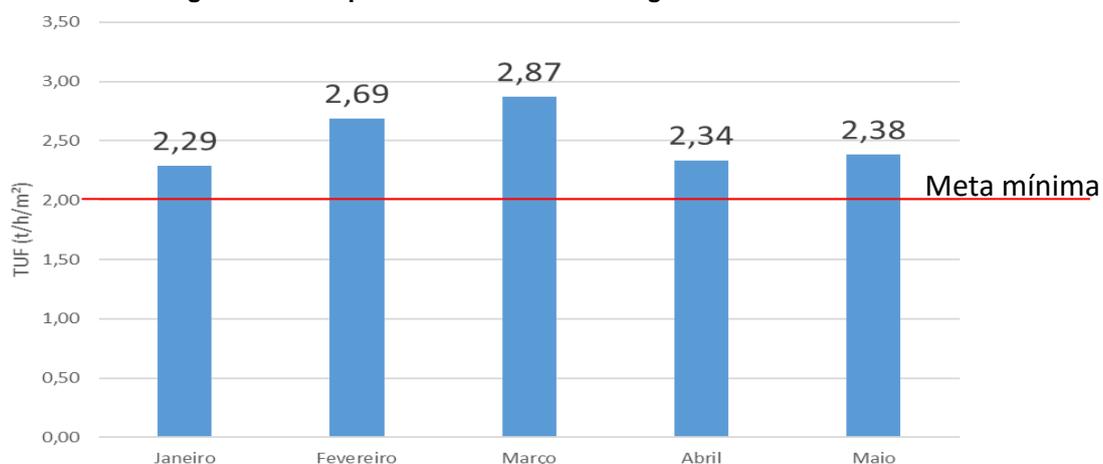
Ainda sobre as figuras 10 e 11, foram obtidos os seguintes dados:

- Primeira troca: beta igual a 4,226428 e MTTF igual a 1362,288205 horas.
- Segunda troca: beta igual a 3,607845 e MTTF igual a 920,177700 horas.

Acerca dos valores supracitados, vale ressaltar que em ambos os valores do parâmetro beta se mostraram bem acima de 1 (um), evidenciando um desgaste do ativo por fim de vida útil, conforme elucidado na seção anterior neste trabalho. Também se destaca o MTTF girando em torno de 1000 horas, valor próximo aos calculados na lógica da figura 6.

Sob a ótica da engenharia de processos, foi possível avaliar que a performance, em todos os principais indicadores avaliados até o momento do estudo, foi acima do planejado, haja vista que a TUF se manteve sempre acima de 2 t/h/m², valor planejado como meta mínima para o primeiro ano de operação da planta. Este comportamento pode ser visualizado na figura 12.

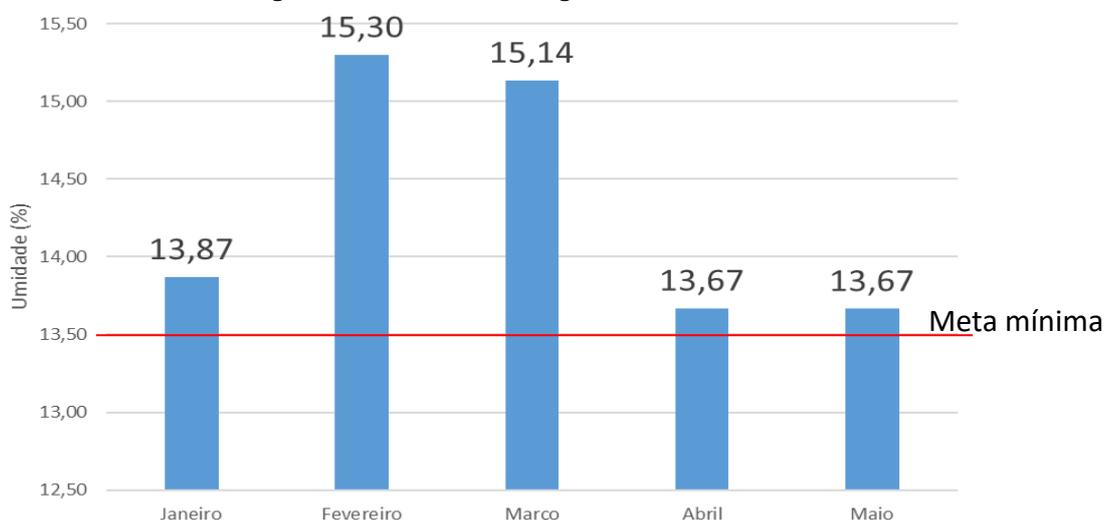
Figura 12 - Comportamento da TUF ao longo dos meses.



Fonte: Acervo do autor.

Outro parâmetro de processo que apresentou ótima tendência ao longo do tempo foi o percentual de umidade da torta na base úmida, com valor médio de 14,33%, dentro da faixa estipulada para operação da pilha que é entre 13,5 e 16%. A figura 13 ilustra a tendência de variação da umidade média mensal.

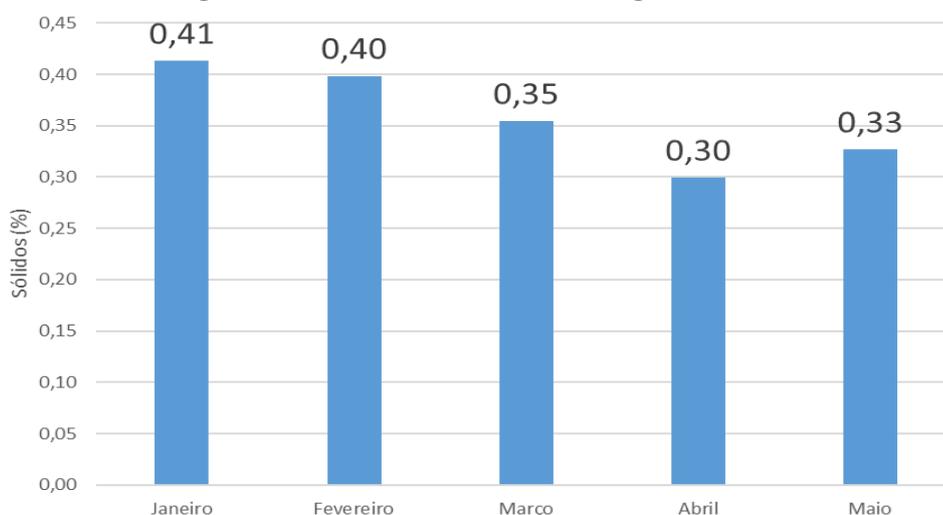
Figura 13 - Umidade ao longo dos meses.



Fonte: Acervo do autor.

Também foi possível observar que o percentual de sólidos no filtrado performou de forma extremamente satisfatória, se mantendo bem abaixo do planejado de 1,5%, com um resultado sempre abaixo de 0,45%, conforme ilustra a figura 14.

Figura 14 - Percentual de sólidos ao longo dos meses.



Fonte: Acervo do autor.

O último quesito analisado foi de cunho financeiro, onde analisando-se a metodologia atual (“*run to failure*”) versus metodologia de troca geral (vida útil calculada em projeto), foi observado que, com uma projeção anual, o custo evitado é da ordem de 54,48% ao evitar o uso da estratégia projetada inicialmente. Outro comparativo realizado foi entre a vida útil para troca proposta pela GGA, de 1143h, e o ponto de troca proposto no projeto da planta, de 800h, onde na projeção anual o valor de projeto se mostrou 25% mais alto. Por fim, comparando-se a proposta apresentada pela GGA versus o atual contexto, a metodologia “*run to failure*” apresentou menor custo, da ordem de 39,31%. A tabela 2 apresenta o comparativo, salientando que as sugestões da segunda e terceira colunas (“Estudo GGA” e “Projeto”) se valem da troca geral, e a terceira coluna é referente à metodologia “*run to failure*”.

Tabela 2 - Comparativo entre sugestões de pontos de troca.

Estratégia	1-Estudo GGA (1143 h)	2-Projeto (800 h)	3-Atual (1200 a 1300 h)
Comparativo 1/2	-25%	x	
Comparativo 1/3	x		-39,31%
Comparativo 2/3		x	-54,48%

6 CONCLUSÕES

Diante o exposto, do ponto de vista da gestão de orçamento, observou-se que a metodologia “*run to failure*” é a que possui menor custo operacional. Não obstante, foi possível concluir que esta metodologia de não acarretou em perdas operacionais, haja vista que em nenhum momento houve tecidos rasgados, impactando em indicadores de produção e/ou controle geotécnico da pilha.

Tendo em mãos todos os dados do presente trabalho, é válido ressaltar que estas condições se aplicam para um contexto operacional de um concentrador em atividade, sendo a planta de filtragem alimentada com uma média diária de aproximadamente 21000 tms de rejeitos, e a mesma mantendo uma média mensal de filtros em operação em torno de três, com possibilidade de picos com quatro filtros operantes, dentro de um total de seis disponíveis.

Como citado por De Oliveira (2021) em sua análise de confiabilidade, sob a ótica da Gestão de Ativos, o foco é extrair o máximo de valor a partir dos ativos de maneira sustentável, eficiente, equilibrando custo, risco e desempenho. Desta forma, para o cenário disposto anteriormente, sugere-se que a metodologia “*run to failure*” continue sendo utilizada, mantendo-se as inspeções diárias e o controle de processos e trocas, de modo que sempre haja alinhamento entre as equipes envolvidas para que as trocas sejam realizadas durante paradas programadas.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, Sérgio Coutinho. FILTRAGEM DE MINÉRIOS DE FERRO - COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE FILTRAGEM DE LABORATÓRIO: TESTES DE FOLHA E DE FUNIL DE BÜCHNER. 2002. 125 páginas. (Tratamento de minérios) - UFMG, Belo Horizonte, 2002.

VALADÃO, G.E.S. SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO. Belo Horizonte: EEUFMG, 2008. 80p.

VASCONCELOS, S. L. MANUAL DE INDICADORES DE DESEMPENHO. Samarco Mineração, 2019.

DE OLIVEIRA, Daniel Dimas. LDA FILTROS DA FILTRAGEM DE REJEITOS DE GERMANO DA SAMARCO MINERAÇÃO. Samarco Mineração, 2021.

RODRIGUES, O. M. S. FILTRAGEM. UFOP, Disciplina de Processamento de Minerais 3, 2021 (Notas de aula).

SOUZA, Arley Henrique De. ESTUDO COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE FILTRAGEM APLICADAS A REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO PROVENIENTES DA ETAPA DE DESLAMAGEM. 2020. 152 páginas. Dissertação (Tratamento de minérios) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

GUIMARÃES, N. C., VALADÃO, G. E. S., PERES, A. E. C. FILTRAGEM DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO VISANDO A SUA DISPOSIÇÃO EM PILHAS. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 65 (4), dezembro, 2012.

REIS, Luiz Otavio Rosa, ANDRADE, Jairo José de Oliveira. ANÁLISE DE FALHAS E DA POSIÇÃO NA CURVA DA BANHEIRA DE MOLDES EMPREGADOS EM EQUIPAMENTOS DE INJEÇÃO. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIX, 2009, Salvador - BA. Anais.

CARVALHO, Wesley Durval Soares de. SISTEMA DE DISPOSIÇÃO COMPARTILHADA DE ESTÉREIS E REJEITOS DESAGUADOS DA MINA DE FERNANDINHO. 2017. 163 páginas. Dissertação (Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.