



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



---

**USO ALTERNATIVO PARA UMA PILHA DE ESTÉRIL: BARREIRA ACÚSTICA E  
ESTOQUE DE SOLO/SAPRÓLITO PARA FECHAMENTO DE MINA.**

VAGNER CARVALHO FERNANDES

Ouro Preto  
Dezembro de 2022



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



---

**USO ALTERNATIVO PARA UMA PILHA DE ESTÉRIL: BARREIRA ACÚSTICA E  
ESTOQUE DE SOLO/SAPRÓLITO PARA FECHAMENTO DE MINA.**

VAGNER CARVALHO FERNANDES

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia de Minas da Universidade  
Federal de Ouro Preto como requisito  
para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Ribeiro de Souza

Ouro Preto  
Dezembro de 2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F363u Fernandes, Vagner Carvalho.  
Uso alternativo para uma pilha de estéril [manuscrito]: barreira acústica e estoque de solo/saprólito para fechamento de mina. / Vagner Carvalho Fernandes. - 2022.  
43 f.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e mineração - Planejamento. 2. Drenagem ácida de minas. 3. Desativação de minas. I. Souza, Felipe Ribeiro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.85:622.5

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Vagner Carvalho Fernandes

### Uso alternativo para uma pilha de estéril: Barreira acústica e estoque de solo/saprólito para fechamento de mina

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

Aprovada em 06 de Dezembro de 2022

#### Membros da banca

Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza - Orientador(a)- Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. Hernani Mota de Lima- Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. José Fernando Miranda - Universidade Federal de Ouro Preto

Felipe Ribeiro Souza, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 20/01/2023



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Ribeiro Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/01/2023, às 13:38, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0459628** e o código CRC **9851F646**.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a saúde, força e paz durante a busca dos meus sonhos.

A minha família por sempre acreditarem em mim. Especialmente meus pais, Jose e Adeilza, e irmãos, Julieli e João Guilherme, que me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos de minha vida.

A Ingrid Carolina, minha amada, por todo companheirismo, paciência e dedicação comigo durante todos os momentos difíceis.

A Keiler de Carvalho e toda sua equipe de serviços técnicos, por todos os ensinamentos e oportunidades de crescimento.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da UFOP por todo conhecimento e sabedoria no meu desenvolvimento profissional. Em especial, os professores Dr. Felipe Ribeiro e Dr. Vladimir Kronenberg por toda paciência e incentivos nos trabalhos que desenvolvemos juntos.

Aos amigos da UFVJM, da UFOP e das Republicas de Ouro Preto, pela amizade dentro e fora da Universidade.

Aos amigos Enilson Resende, Tais Ribeiro e Emilcy Totti por sempre me ajudarem a crescer pessoal e profissionalmente.

A Liga Acadêmica de Geotecnia da Escola de Minas (LAGEM) e a Fundação Gorceix por todo apoio e oportunidade de crescimento que me proporcionaram.

“Investir em conhecimento sempre rende os melhores juros”  
Benjamin Franklin

## RESUMO

A remoção de estéreis é uma atividade comum para a exposição de um dado corpo mineral, com isso, faz-se necessário o planejamento técnico/econômico da disposição do mesmo em estruturas específicas a este fim, as Pilhas de Estéril. A depender da composição químicas destes materiais, os mesmos podem apresentar um potencial danoso ao meio ambiente, e isso deve ser mensurado durante as operações de lavra dos mesmos. O presente trabalho aborda diferentes geometrias para ampliação de uma pilha de solo/saprólito, bem como a utilização futura do material no fechamento de mina além de promover atenuação acústica das operações de lavra próximas a ela. Para isto, elaborou-se diferentes designs de ampliação, avaliou-se os impactos associados a cada um destes, tais como: capacidade, operacionalidade e atenuação acústica, definindo-se a geometria a ser executada. Após o encerramento da disposição do solo, gerou-se o sólido do material colocado na pilha, utilizando a topografia inicial e final, em seguida, cortou-se em blocos e definiu-se o teor das diferentes variáveis químicas em cada bloco, utilizando as informações de posição e teores disponível no sistema de despacho, trazendo uma previsibilidade, mesmo com algumas deficiências, da distribuição espacial do material, a fim de mitigar o risco de geração de drenagem ácida no fechamento. Portanto, a localização, geometria e uso final de uma pilha de estéril constituem-se como uma oportunidade de redução dos impactos associados as operações de lavra, bem como novas utilizações aos sistemas de despacho eletrônico que são largamente utilizados em mineração.

## **ABSTRACT**

Waste removal is a common activity to expose a orebody, therefore, it is necessary to plan, both technically and economically, its disposal in structures that are specific for this purpose, the Waste Pile. Depending on chemical characteristics of the waste materials, they can be a possible environmental hazard, which must be measured during the mine operations. This final paper addresses different geometries for expanding a soil/saprolite pile, as well as the future use of the material both in mine closure and to promoting acoustic attenuation of mine operations close to it. For such, different expansion designs were elaborated and the impacts associated with each of them were evaluated, such as: capacity, operability and acoustic attenuation, defining the geometry to be executed. After finishing the soil disposal, the solid of the material placed on the pile was generated, using the initial and final topography, it then was cut into blocks and the content of the different chemical variables in each block was defined, using the position and grade information available in the dispatch system, bringing predictability, even with some deficiencies, of the spatial distribution of the material, in order to mitigate the risk of generating acid drainage during the mine closure. Therefore, the location, geometry and final use of a waste pile dump constitute an opportunity to reduce the impacts associated with mining operations, as well as new uses for electronic dispatch systems that are widely used in the mining industry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de atividades básico de um caminhão (Quevedo, 2009 apud Carneiro, 2014).....	17
Figura 2: Exemplo de atividades que consomem tempo (Modificado de Bezerra, 2022).....	17
Figura 3: Esquema dos principais elementos de uma PDE (Costa, 2018). ....	19
Figura 4: Tipos de PDE (Modificado de BC Mine Waste Rock Pile Research Committee, 1991). 19	
Figura 5: Construção de pilha pelo método ascendente por camadas (FERREIRA, 2016). ....	20
Figura 6: Construção de pilha pelo método descendente (FERREIRA,2016). ....	20
Figura 7: Esquema genérico para rebatimento de taludes (Nunes, 2014). ....	21
Figura 8: Talude rebatido e talude operacional (Costa, 2018).....	21
Figura 9: Relação entre ANC e NAPP (Modificado de Jones et al., 2016 p. 50).....	23
Figura 10: Relação NAPP vs NAG (SUTTHIRAT, 2011). ....	24
Figura 11: Estruturação de um solo genérico (Lima et al, 2007). ....	25
Figura 12: Esquema de atenuação uma barreira acústica (Freitas e Trabulo, 2007). ....	27
Figura 13: Pilha Antiga. (Fonte própria). ....	30
Figura 14: Diferentes geometrias avaliadas.....	31
Figura 15: Atenuação acústica entre as geometrias propostas e a situação atual. ....	31
Figura 16: Variáveis operacionais de avaliadas em cada geometria. ....	32
Figura 17: Fases de deposição na Pilha Montezuma. ....	33
Figura 18: Pilhas de estéril saprólito e as Pilhas a serem fechadas. ....	34
Figura 19: Distância entre as Pilhas de Saprólito para as diferentes Pilhas de estéril.....	34
Figura 20: Dumps na Pilha Montezuma em 2022. ....	35
Figura 21: Região ampliada em 2022.....	36
Figura 22: Estoque de saprólito modelado em blocos para lavra futura vista frontal completa.....	37
Figura 23: Estoque de saprólito cortado em bancos, vista superior. ....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidade de propagação do som em diferentes materiais (Modificado de MELO, 2017).....	27
Tabela 2: Distância entre as pilhas de estéreis com os estoques de solo/saprolito.....	34

## LISTA DE ABREVIACOES, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS

NAPP	Potencial Mássico de Gerao de Acidez
NAG	Gerao Líquida de cido
MPA	Máximo Potencial de Acidez
ANC	Capacidade de Neutralizao cida
DAM	Drenagem ácida de Mina
PDE	Pilha de Disposio de Estéril
NaOH	Hidróxido de Sódio
HCl	cido Clorídrico
NAF	Não Formador de cido
PAF	Provável Formador cido
dB	Decibéis
Pa	Pascal
IQD	Inverso do Quadrado da Distância

# Sumário

1. Introdução.....	14
2. Objetivos .....	15
2.1. Objetivo geral.....	15
2.2. Objetivos específicos .....	15
3. Justificativa e relevância .....	16
4. Revisão bibliográfica.....	16
4.1. Operações de lavra .....	16
4.2. Pilhas de estéril .....	18
4.3. Drenagem ácida de mina.....	21
4.4. Fechamento de pilhas de estéril .....	25
4.5. Atenuação acústica.....	26
4.6. Reconstrução de teores .....	28
5. Metodologia .....	29
6. Resultado e discussão.....	30
6.1. Geometrias .....	30
6.2. Pilhas de solo/saprólito .....	33
6.3. Controle de qualidade .....	35
6.4. Reconstrução de teores para retomada.....	35
7. Conclusão .....	38
8. Bibliografia.....	39

## 1. Introdução

A remoção de estéreis é uma atividade geralmente necessária para que seja possível a lavra de um dado corpo mineralizado. Para isso, o planejamento da disposição deste estéril deve obedecer a critérios técnicos e econômicos de forma a minimizar os impactos ambientais. As Pilhas de Disposição de Estéril (PDE) são as estruturas responsáveis por armazenar este estéril, e para a construção da mesma é necessário atender dados critérios geométricos que visam a assegurar a exequibilidade e segurança do projeto, além dos requisitos mínimos estabelecidos nas normas técnicas brasileiras.

A depender das características químicas do estéril, o mesmo pode apresentar-se como não inerte, podendo assim provocar danos ambientais. A Drenagem Acida de Mina (DAM) é um fenômeno de contaminação da água geralmente provocado pela presença de minerais ricos em enxofre, o qual oxida-se aumentando a acidez do meio. Para a minimização do impacto associado a este fenômeno, a PDE que apresenta alta quantidade destes minerais deve apresentar localização e plano de fechamento/desativação específicos.

As atividades de lavra a céu aberto geralmente apresentam equipamentos de grande porte, os quais podem emitir ruídos que interferem na sociedade que vive em torno das atividades mineiras. Diferentes estratégias podem ser utilizadas para minimizar o ruído proveniente das operações associadas a lavra de uma dada mina, dentre elas está a utilização de barreiras acústicas. Estas barreiras atuam como obstáculos para a propagação de ondas sonoras, reduzindo assim o som percebido pelo receptor. O planejamento da localização, geometria e o material utilizado na construção destas barreiras pode maximizar este efeito, reduzindo o impacto nas operações mineiras associadas.

Após disposição do volume planejado para uma PDE, a caracterização dos teores das diferentes variáveis é definida por teor médio das viagens destinadas a mesma ou por amostragem de material na pilha, mas com o avanço das tecnologias aplicadas a pesquisa operacional, o uso dos sistemas de despacho oferece condições de se utilizar modelos de distribuição a partir da posição de basculamento na pilha, devido ao tamanho da base de dados destes sistemas. A modelagem dos teores das diferentes variáveis de uma PDE ganha maior relevância ainda quando este estéril é composto por solo/saprólito, pois este material geralmente é utilizado no fechamento de mina como uma camada facilitadora a revegetação, com isso, o conhecimento das qualidades do mesmo torna a mesma um elemento chave do planejamento estratégico da lavra.

O planejamento e execução da disposição de material em uma PDE pode sofrer influência de diferentes variáveis, impactando diretamente nas decisões estratégicas de planejamento de curto e longo prazo da lavra, bem como a operacionalidade da construção da PDE.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

Propor uma geometria de ampliação a uma pilha de estéril de solo/saprólito em uma mina de Minas Gerais.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar a atenuação acústica provocada por diferentes geometrias na ampliação de uma pilha de estéril.
- Avaliar a localização de uma pilha de estéril como estoque de saprólito a ser utilizado no fechamento de mina.
- Abordar classificações utilizadas na caracterização de estéreis sulfetados
- Avaliar e reconstruir, em forma de modelo de blocos, o teor de enxofre do solo/saprólito destinado a pilha de disposição de estéril utilizando as informações do sistema de despacho.

### **3. Justificativa e relevância**

A relação saudável com o público externo à mineradora é de vital importância, principalmente as comunidades próximas as áreas operacionais (Alves, 2017). A presença de resíduos sólidos, ruído, poeiras e sismicidade são inerentes ao processo de lavra, e quando próximas a comunidades, a gestão destes ganha relevância ainda maior. Logo, alternativas voltadas a mitigação destes impactos apresentam-se como oportunidade de reduzir conflitos entre a empresa e as comunidades próximas a atividade mineira.

Geralmente, a presença de estruturas de disposição de estéreis é comum na mineração a céu aberto, devido à necessidade de exposição do corpo mineralizado, com isso, o solo/rocha sem valor econômico fica condicionado a gerar apenas custo durante sua remoção, logo, a utilização deste insumo como dispositivo de controle acústico traz uma destinação nobre a esta estrutura.

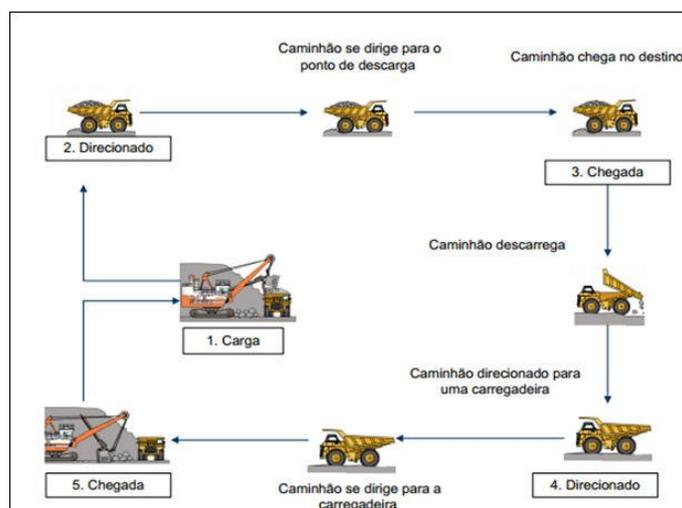
Para exposição do corpo mineralizado, é necessário o decapeamento da área, atividade que consiste na remoção do solo/saprólito superficial, sendo este geralmente estocado, e ao fim da vida útil da mina, o mesmo é retomado para a recuperação da área degradada pela mineração. Após a construção das pilhas de solo, o conhecimento do teor de variáveis químicas como o enxofre é fundamental, pois altas concentrações deste elemento pode provocar a geração de danos ambientais associados a drenagem acida de mina, logo, a utilização de uma base de dados das viagens auxilia no controle geoquímico deste estéril.

### **4. Revisão bibliográfica**

#### **4.1. Operações de lavra**

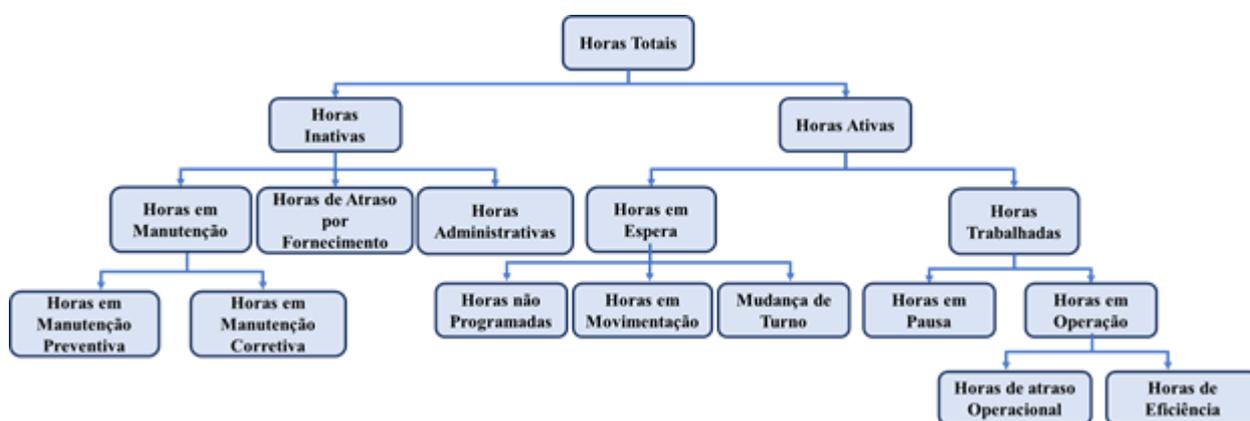
As operações de mina a céu aberto correspondem principalmente as atividades de perfuração, desmonte, carga e transporte numa dada frente de lavra (Bernardi, 2015). Após um dado material ser desmontado, mecanicamente ou com explosivos, o mesmo é colocado em equipamentos de transporte pelos equipamentos de carga, sendo transportados até o ponto de descarga, seja este para minério ou para estéril (Quevedo, 2009 *apud* Bernardi, 2015).

As atividades básicas no ciclo de transporte consistem em: carregamento, deslocamento carregado, descarga e deslocamento vazio, onde o ciclo se inicia com o carregamento, após esta atividade, o caminhão se desloca pelas estradas da mina até o destino definido, descarrega neste e retorna vazio para o ponto de carregamento (Carneiro, 2014). A figura 1 apresenta o esquema do ciclo de um caminhão.



**Figura 1: Ciclo de atividades básico de um caminhão (Quevedo, 2009 apud Carneiro, 2014).**

Os indicadores de produção estão entre os principais índices de controle de um sistema (Bernardi, 2015). A maioria dos indicadores de desempenho relacionados a produtividade dos equipamentos de mineração, durante o planejamento de lavra, encontram-se atrelados à quantidade de horas de operação e demais horas associadas ao ciclo do equipamento (Bezerra, 2022). Ainda segundo este autor, a Disponibilidade Física (DF), a Utilização Física (UF) e o Desempenho de Produção (DP) são considerados como os principais indicadores na operação de lavra. A figura 2 apresenta as horas de um equipamento.



**Figura 2: Exemplo de atividades que consomem tempo (Modificado de Bezerra, 2022).**

Numa mineração com transporte por caminhões, o planejamento e manutenção dos acessos são componentes vitais para o processo de produção, sendo a infraestrutura de mina responsável por esta atividade (FREIRE, 2019). Ainda segundo este autor, o direcionamento de drenagens, aspersão de vias e conformação de taludes e bermas são atividades também executadas pela infraestrutura de mina.

No Brasil, há algumas normas que definem os parâmetros necessários para a elaboração e execução de projetos de infraestrutura de mina, pode-se citar a NR22, norma regulamentadora que define os parâmetros de saúde e segurança operacional, e a NBR13029 que define os parâmetros a serem seguidos na elaboração e execução de projetos de disposição de estéril, a NBR9061 que define os parâmetros de segurança de escavações a céu aberto e a NBR13030 que define os parâmetros de um projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração.

De acordo com Pellissari (2019), o projeto de uma estrada de mina deve ser projetado levando em considerações fatores como: dimensões dos equipamentos, características do material disponível para a construção e manutenção das vias, etc., pois a partir delas haverá o escoamento do minério/estéril proveniente dos avanços de lavra. A elaboração de uma estrada de mina constitui-se dos projetos

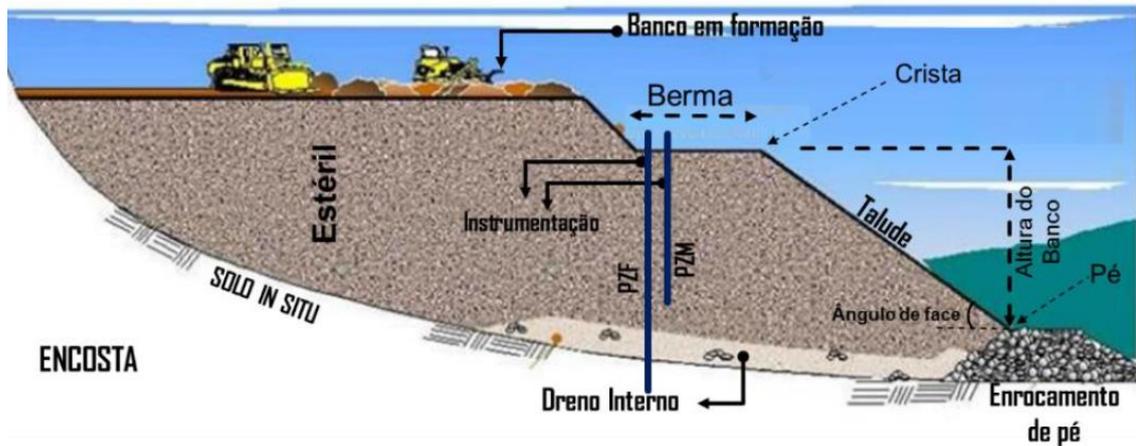
- Geométrico: largura das vias, raios de curvatura, inclinação;
- Estrutural: espessura e tipo de material a ser utilizado;
- Funcional: camada superficial do pavimento e manutenção.

#### 4.2. Pilhas de estéril

A mineração consiste no conjunto de atividades e processos com a finalidade de retirar substâncias minerais presentes nos depósitos na crosta terrestre (Pulino, 2010). Segundo Curi (2014), as operações que envolvem a mineração são divididas em 4 fases: Prospecção, Exploração, Desenvolvimento e Lavra, sendo o fechamento de mina incluso nesta última. A etapa de prospecção corresponde a busca por uma jazida através da investigação de ocorrências naturais (Curi, 2014). A fase de exploração consiste no detalhamento da área alvo, definida anteriormente na prospecção, através de testemunhos de sondagem e ensaios geofísicos, visando delinear o recurso em potencial (Heikkinen et al, 2008, p.11). O desenvolvimento são as atividades preparatórias para o aproveitamento da jazida e a lavra é o aproveitamento econômico propriamente dito do bem mineral, de forma segura e ambientalmente adequada (Curi, 2014).

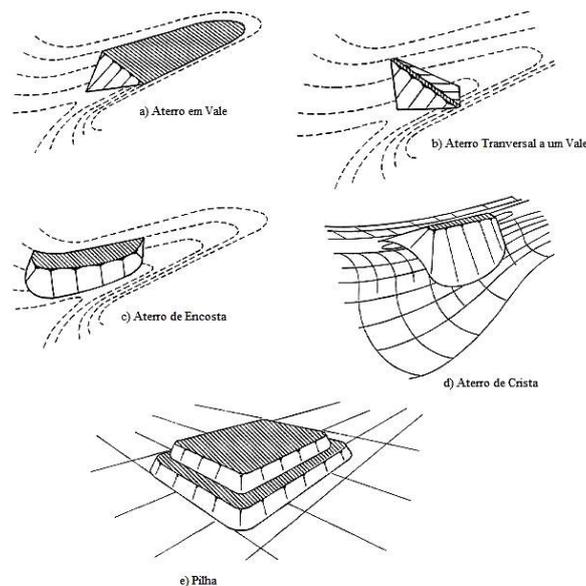
Durante a lavra, geralmente é necessário remover estéril para que seja possível acessar o minério, sendo considerado estéril o material que não apresenta a substância alvo ou que o teor desta esteja abaixo da concentração considerada viável para o aproveitamento econômico (Pulino, 2010).

A elaboração e execução do projeto de uma PDE é contemplado pela ABNT NBR 13029 (2017), que estabelece os requisitos mínimos que a estrutura deve atender, sendo ainda dependente dos órgãos regulamentadores, tais como a Agência Nacional de Mineração (ANM) e Secretaria de Meio Ambiente (SEMA). A figura 3 mostra os principais elementos de uma PDE.



**Figura 3: Esquema dos principais elementos de uma PDE (Costa, 2018).**

Há diferentes maneiras de se classificar uma pilha de estéril, baseadas em configurações geométricas e tipo de fundação, as quais podem fornecer uma previsão do comportamento hidráulico no interior da estrutura, bem como os potenciais problemas a serem investigados (Ferreira, 2016). A figura 4 apresenta o sistema de classificação de pilhas de estéril da BC Mine Waste Rock Pile Research Committee, (1991).

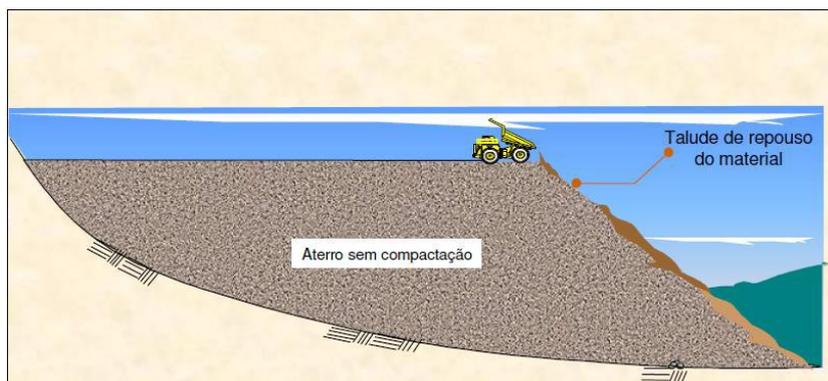


**Figura 4: Tipos de PDE (Modificado de BC Mine Waste Rock Pile Research Committee, 1991).**

Segundo Forgearini *et al* (2015), Uma PDE pode ser desenvolvidas de duas maneiras: Ascendente ou Descendente. No método ascendente (figura 5), a construção pode ser de duas formas: por camada ou bancada. Na deposição por camadas, a pilha é construída em horizontes de até 1,5m, já em bancadas o desenvolvimento é na altura do banco, geralmente entre 10 e 15m (Aragão, 2008). No método descendente, (figura 6), o lançamento do material ocorre na ponta da pilha, sem uma ordem ou controles definidos.



**Figura 5: Construção de pilha pelo método ascendente por camadas (FERREIRA, 2016).**

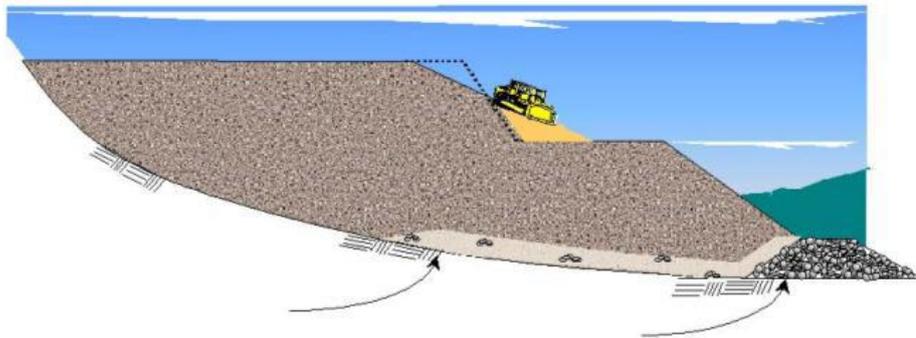


**Figura 6: Construção de pilha pelo método descendente (FERREIRA,2016).**

Segundo Ferreira (2016), o método descendente é aparentemente mais barato, dentre as duas opções, mas devido à ausência de compactação e de preparo da fundação, apresenta alto potencial de escorregamento, pois geralmente o sistema de drenagem é ineficiente, o que provoca risco de colapso por saturação do material exposto. O sistema ascendente é mais vantajoso, pois o alteamento ocorre em camadas pouco espessas, sendo cada alteamento sustentado no nível anterior.

Após a conclusão da disposição de material na bancada, ou seja, quando o limite do projeto é alcançado, inicia-se o processo de fechamento, que compreende as atividades de suavização do ângulo do talude (rebatimento), conformação das bermas para drenagem superficial e a

revegetação (Costa, 2018). A figura 7 apresenta um esquema genérico para o rebatimento de talude.



**Figura 7: Esquema genérico para rebatimento de taludes (Nunes, 2014).**

Para um maior aproveitamento do espaço disponível para a pilha, os bancos operacionais apresentam ângulo de talude mais íngreme, avançando assim até o pé do banco em construção chegar próximo a crista do banco inferior, após concluída a disposição, estes taludes são rebatidos no ângulo de projeto para facilitar o processo de reabilitação vegetal (Costa, 2018). A figura 8 apresenta um exemplo de um talude em que houve rebatimento e outro em ângulo operacional.



**Figura 8: Talude rebatido e talude operacional (Costa, 2018).**

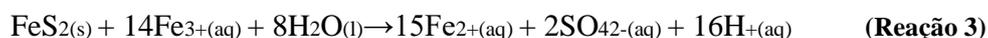
### 4.3. Drenagem ácida de mina

Os estéreis de mineração são geralmente classificados como não perigosos inertes, mas a depender da composição mineralógica dos mesmos, podem ser considerados como não inertes ou perigosos, como o que acontece com os estéreis sulfetados, que quando são expostos a ambientes oxidantes podem provocar a geração de drenagem ácida de mina - DAM (Pulino, 2010).

A DAM é o nome dado as soluções ácidas formadas a partir da oxidação de sulfetos, no qual essa solução enriquecida em ácido sulfúrico atua como agente lixiviante de metais pesados,

que caso ocorra a percolação para os corpos hídricos, ocasiona a contaminação dos mesmos por longo intervalo de tempo (Borma e Soares, 2002).

Segundo Mello, Ladeira e Duarte (2014), os principais sulfetos associados a geração de DAM são a Pirita e a Marcassita, ambas de composição química ( $\text{FeS}_2$ ), sendo também os mais abundantes em diferentes litologias. Uma das propostas para explicar o processo de oxidação destes minerais é que o mineral sofre oxidação pela presença de água e oxigênio (reação 1), em seguida, o  $\text{Fe}^{2+}$  é oxidado em  $\text{Fe}^{3+}$ , liberando mais  $\text{H}^+$  e precipitando  $(\text{FeOH})_3$  conforme (reação 2), nessa etapa o ambiente ácido provocado pelas reações anteriores pode fazer com que o  $\text{Fe}^{3+}$  também reaja com a Pirita (reação 3) (Abreu, 2013).



Fonte: Mello et al, 2014.

A reação 2 é considerada limitante no processo por ocorrer lentamente, processo ao qual pode ser catalisado (acelerado) pela presença de certas espécies de bactérias *Acidithiobacillus thiooxidans* e *Acidithiobacillus ferrooxidans*, que são capazes de oxidar o enxofre e o ferro respectivamente (Mello, Ladeira e Duarte, 2014). Ainda segundo estes autores, nem todos sulfetos sofrem hidrólise ácida, como é o caso da galena ( $\text{PbS}$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) e a Calcosita ( $\text{CuS}$ ), fato este dependente da capacidade do metal associado ao enxofre ser capaz de formar bases fracas.

Segundo Borma e Soares (2002), há diferentes metodologias para prever a ocorrência de DAM, sendo estas baseadas na caracterização física, química e mineralógica do material e ensaios de laboratório, que geralmente envolvem o balanço químico entre Ácido-Base e cinética química. Segundo Ferguson & Erickson, 1988 apud Sutthirat, 2011, o Balanço Ácido-base (ABA) é o teste mais comum para estimativa de DAM. A calcita é o mineral neutralizador mais comum (Leite, 2010), sendo a reação deste mineral com a solução ácida apresentada pelas reações 4 e 5



O teste ABA consiste em determinar o potencial máximo de acidificação (MPA) e a capacidade de neutralização ácida (ANC) de uma dada amostra, com estes valores, determina-se o potencial mássico de produção ácida (NAPP), que é dado pela diferença entre MPA e ANC, podendo ser utilizado em forma de razão ANC/MPA (Sutthirat, 2011). Ainda segundo este autor,

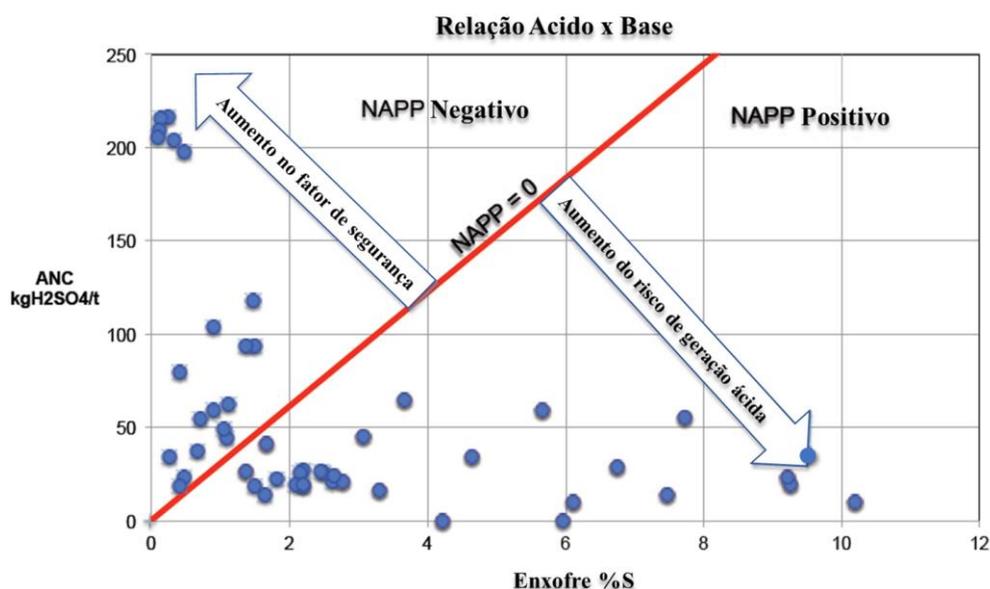
o MPA pode ser determinado pelo método de combustão em alta temperatura da LECO Corporation, onde assume-se que todo o sulfeto está na forma de  $\text{FeS}_2$  e reage seguindo a reação 6:



Conforme estequiometria, a quantidade máxima produzida de ácido em uma amostra com 1% de enxofre será  $30,6 \text{ kg/t}_{\text{material}}$ . Sendo assim o MAP dado pela equação 1

$$\text{MPA (kg H}_2\text{SO}_4/\text{t)} = (\% \text{S Total}) \times 30,6 \quad \text{Equação 1}$$

Já o ANC é determinado pela mistura da amostra com uma quantidade conhecida de uma dada solução padrão de HCl, em seguida, faz-se a retrotitulação da mistura utilizando NaOH com concentração igual à do ácido até atingir  $\text{pH}=7$ , a quantidade de ácido consumida representa o ANC da amostra, em  $(\text{kg H}_2\text{SO}_4/\text{t})$ . A figura 9 apresenta a relação entre ANC e o %S na predição de AMD.



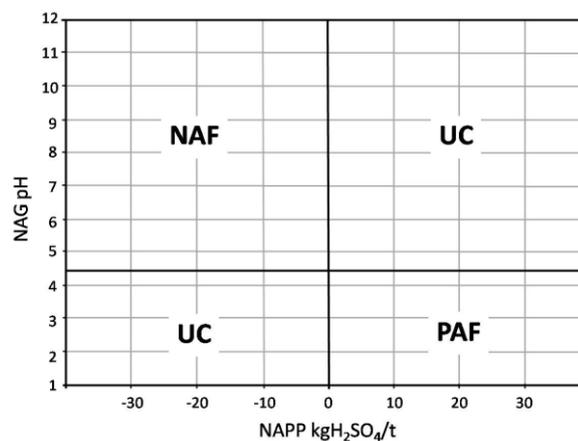
**Figura 9: Relação entre ANC e NAPP (Modificado de Jones et al., 2016 p. 50)**

Conforme o gráfico, para valores de  $\text{NAPP} < 0$  (negativo) indicam que amostra não apresenta potencial formador de ácido (NAF), já para  $\text{NAPP} \geq 0$  (positivo) indica que a amostra apresenta potencial de formar ácido (PAF).

Outro método para tentar prever a DAM é o ensaio de geração líquida de ácido (NAG). Neste ensaio se adiciona  $\text{H}_2\text{O}_2$  na amostra, a fim de oxidar o enxofre em sulfato, liberando  $\text{H}^+$  na solução, podendo este ser neutralizado pela própria amostra (Leite, 2010).

Segundo Miller et al (2006), o NAG pode ser determinado da seguinte forma: Adiciona-se 250ml de uma solução com 15% de  $H_2O_2$  em 2,5g da amostra pulverizada, deixando a mistura reagir por 24h, em seguida, se aquece a amostra ate borbulhar levemente entre 1 e 2 horas, deixa-se o solução esfriar até a temperatura ambiente e mede-se o pH da mistura, caso esteja abaixo de 4,5, indica que a amostra tem potencial de acidificação, em seguida, titula-se a mistura até pH 4.5 e 7, os valor obtido com a titulação são convertidos em  $kg H_2SO_4/t$  e o valor de NAG conhecido.

O teste NAG é geralmente utilizado em associação ao teste de NAPP, sendo o primeiro uma medida direta do potencial de oxidação dos sulfetos (Sutthirat, 2011). Se  $NAPP > 0$  e  $NAG < 4,5$ , o material apresenta probabilidade de gerar DAM conforme ambos os testes, mas se  $NAPP < 0$  e  $NAG > 4,5$ , ambos os testes indicam que não a geração de DAM. A figura 10 mostra esta relação entre NAPP e NAG.



**Figura 10: Relação NAPP vs NAG (SUTTHIRAT, 2011).**

Segundo Hamdani et al (2017), o teste NAG e o NAPP individualmente possuem limitações, mas com o uso combinado de ambos a confiabilidade na predição de DAM incrementa significativamente, pois pode ocorrer perturbações no resultado quando analisados individualmente e com isso classificar um material NAF como PAF e vice versa.

Quando os valores de NAPP apresentam conflito com os valores de NAG, a classificação da amostra fica incerta (UC), implicando na necessidade de avaliação mais profunda, utilizando-se de técnicas como NAG sequencial (NAGS) e ANC modificado (MANC), visando identificar a presença de elementos ou minerais como carbono orgânico e siderita ( $FeCO_3$ ), que são prejudiciais aos testes NAG e ANC tradicionais (Miller et al, 2006).

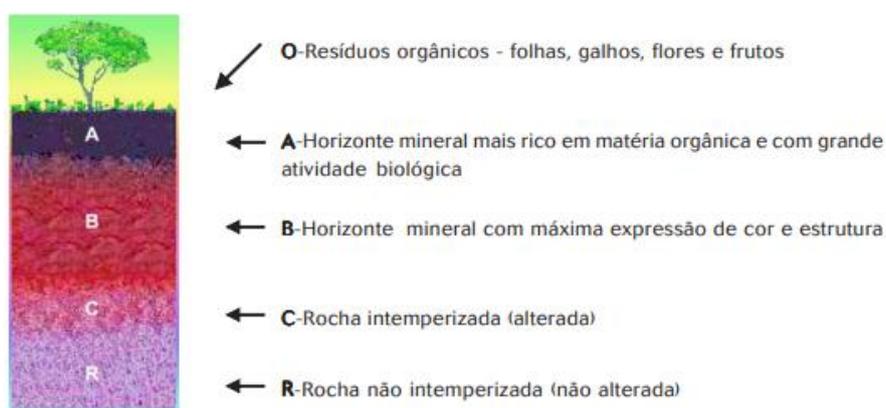
#### 4.4. Fechamento de pilhas de estéril

As áreas degradadas são, geralmente, caracterizadas por solos erodidos ou empobrecidos, que sofreram uma redução da produtividade primária, diminuição da atividade biológica ou instabilização hidrológica (Parrotta, 1992). No Brasil, através da Lei nº 6938 de 1981, o poluidor é obrigado a recuperar as áreas degradadas, sendo este poluidor pessoa física ou jurídica, pública ou privada, responsável direta ou indiretamente de degradação (Brasil, 1981).

A fim de mitigar os impactos ao meio ambiente após a atividade de extração mineral, há necessidade de se recuperar satisfatoriamente as áreas que foram degradadas (Cardoso, 2020). Ainda segundo este autor, em PDE's a revegetação é uma atividade recomendada para evitar liberação de finos em corpos hídricos bem como contribuir para a estabilização das condições geotécnicas da estrutura. A falta de vegetação em taludes pode condicionar a movimentação de massa bem como a erosão dos mesmos, assim, a presença das raízes e caules atuam como elementos estruturais e mecânicos em diferentes formas geométricas (Medeiros et al, 2014).

Nos casos em que os estéreis podem provocar DAM, uma solução típica é a redução da infiltração de água e passagem de oxigênio para o interior da PDE, que pode ser alcançada através do uso de argila compacta, camadas de solo e materiais de enrocamento neutros (Pulino, 2010).

Uma técnica geralmente utilizada na revegetação é o uso do horizonte A, também chamado de topsoil, material de origem do decapeamento das camadas ou horizontes superficiais do solo rico em matéria orgânica, elevada atividade microbiológica, podendo ainda conter sementes diversas (Bahram, 2018 apud Cardoso, 2020). A figura 11 ilustra a estruturação de um solo genérico.



**Figura 11: Estruturação de um solo genérico (Lima et al, 2007).**

A eficiência na recuperação ambiental depende de diferentes variáveis, tais como: clima, vegetação, origem e tipo do material e metodologia de aplicação (Tarcey e Glossop, 1980 apud Cardoso, 2020). Na revegetação podem ser utilizadas espécies gramíneas e leguminosas, devido a

propriedade de formarem redes de suporte ao solo e a capacidade de fixarem nitrogênio (Andrade, 2021).

#### 4.5. Atenuação acústica

A utilização de equipamentos de maior capacidade de movimentação proporciona uma maior produtividade e menor custo operacional (Grossi, 2022). Devido ao tamanho dos equipamentos, pode-se encontrar níveis de ruídos elevados (Sensogut e Cinar, 2006), sendo definido como ruído o som incômodo escutado pelo receptor ou quando este apresenta risco a saúde humana (Gonçalves, 2014).

O som é caracterizado como vibrações ou conjunto ondas mecânicas que podem ser ouvidas (Saliba, 2021). O nível de intensidade sonora é dado pela relação logarítmica entre a Pressão sonora no meio em Pascals (Pa), provocada pela variação de pressão causada por essas ondas, e a pressão de referência mínima audível pelo ser humano (Gonçalves apud Bies e Hansen, 2014). Essa relação é representada pela equação 2

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

**Equação 2.**

$L_p$  representa o nível de pressão em dB,  $p$  a pressão sonora em Pascal (Pa) e  $p_0$  a pressão sonora de referencia ( $p_0=20 \times 10^{-6}$  Pa), sendo que para percepção humana a propagação dessas ondas devem estar dentro de certos limites de frequência, sendo este entre 20 e 20000Hz (Hertz).

As ondas sonoras se propagam apenas em meio físico, podendo ser qualquer meio, mas lembrando que cada meio apresenta um comportamento diferente, a tabela 1 exemplifica a velocidade de propagação de uma onda sonora em diferentes meios.

Segundo Gonçalves (2014), a propagação da onda sonora passa por 3 estágios: geração pela fonte, propagação pelo meio e a recepção pelo destinatário. Qualquer intervenção deve ocorrer em um ou mais destes estágios (Gonçalves apud Watt, 2014).

Material	Velocidade de Propagação do som	
	v/(m/s)	
Ar (10 °C)	331	
Ar (20 °C)	343	
Ar (30 °C)	350	
Oxigênio	317	
Dióxido de Carbono	250	
Água	1480	
Borracha	54	
Alumínio	4420	

Tabela 1: Velocidade de propagação do som em diferentes materiais (Modificado de MELO, 2017).

Alguns exemplos que podem ser aplicadas na redução de ruído na fonte são: alteração do posicionamento da fonte ruidosa, substituição por opções mais silenciosas, troca de peças metálicas por plásticas quando possível, etc. já no receptor são exemplos: uso de equipamentos de proteção, rotatividade de exposição conforme tempo e realocação do colaborador (Bies e Hansen, 2009). Ainda segundo estes autores, uma terceira alternativa, controle na propagação pode ser realizada com o uso de barreiras físicas (barreira acústica). As Barreiras acústicas podem ser feitas de diferentes maneiras (muros, pilhas, etc.) e diversos materiais, tais como, solo, polímeros, fibra de vidro, etc. o qual irá depender do ambiente e da intensidade de ruído que se deseja atenuar (Kohler, Bronzati e Specht, 2010).

Uma barreira acústica funciona como um obstáculo para a onda sonora, desviando-a ou absorvendo-a (Kohler, Bronzati e Specht, 2010). A figura 12 apresenta o esquema de funcionamento de uma barreira acústica na forma de um muro.

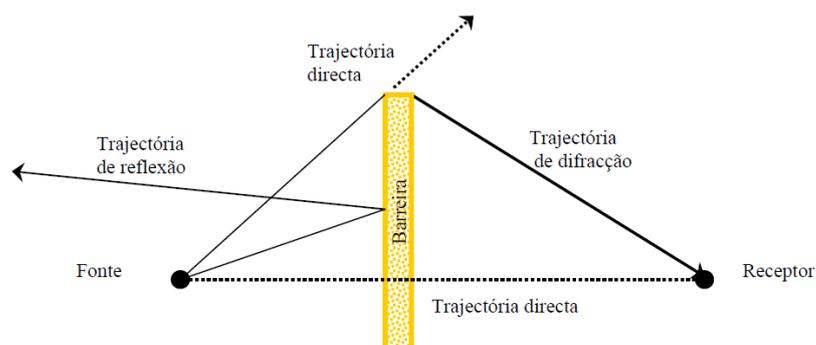


Figura 12: Esquema de atenuação uma barreira acústica (Freitas e Trabulo, 2007).

Conforme Harris, 1979 apud Freitas e Trabulo, 2007, a onda sonora sofre as seguintes interferências em sua propagação devido a presença de uma barreira: uma parcela da energia sonora é refletida (em direção a fonte), uma parte é difratada no topo da barreira sentido ao receptor, uma parte é absorvida pela barreira, e outra parte atravessa a barreira em direção ao receptor. A intensidade de transmissão e reflexão depende das características do material constituinte da barreira, já a difratada depende da altura e geometria da mesma (Freitas e Trabulo, 2007).

Segundo Gonçalves (2014), a difração não é igual para toda onda sonora, esta depende de fatores tais como: frequência da onda sonora, distância entre a fonte e a barreira, forma do topo da barreira, pois, ondas de alta frequência apresentam baixo comprimento de onda, o que desfavorece a difração em direção ao receptor.

A previsão do quanto uma barreira atenua o som deve levar em conta fatores físicos que interferem na propagação das ondas sonoras, tais como: distância a fonte, absorção atmosférica, relevo, vento, umidade, temperatura, etc. (Gonçalves, 2014). Conforme este autor, há dois tipos de modelos para a previsão da atenuação acústica provocada por uma barreira, são eles os modelos numéricos, que necessitam de discretização do meio, e os modelos analíticos, que não necessitam de discretização, sendo estes modelos empíricos, tendo como exemplo deste último o modelo de Maekawa e de Kurze e Anderson que se baseavam no número de Fresnel. Fresnel calculou a atenuação sonora se baseando na diferença de distância percorrida pela onda direta e a difratada e também pelo comprimento de onda. Segundo Bies e Hansen (2009), alguns dos métodos numéricos utilizáveis são: Análise de Elementos Finitos (FEA), Análise de Elementos de Fronteira (FEM) para baixas frequências e Análise Estatística de Energia (SEA) para as altas frequências. Estes métodos numéricos conseguem calcular o campo sonoro de qualquer cenário acústico, dependendo apenas do número de restrições computacionais, apresentando vantagem em relação aos modelos analíticos de Maekawa, Kurze e Anderson (Gonçalves, 2014).

A partir dos dados medidos ou calculados de atenuação acústica de uma barreira é possível a elaboração de mapas de ruído, sendo estes de grande relevância, pois são a representação gráfica dos níveis sonoros como se fossem curvas topográficas (curvas de isovalores) em uma dada região ou momento, facilitando a compreensão dos resultados, bem como avaliar o impacto de diferentes cenários ou diferentes estruturas na propagação do som (Gevú et al, 2018).

#### 4.6. Reconstrução de teores

Em estoques/pilhas, geralmente após a conclusão da disposição de material, é feita uma amostragem para avaliação de teores e se construir um modelo de blocos pseudogeológico,

assumindo que a disposição do material ocorreu de forma aleatória por um longo período de tempo, não se aplicando modelos geoestatísticos (Asano e Dessureault, 2009). O modelo de blocos é uma divisão de um dado corpo em uma grade de blocos que recebem a estimativa de teor de diferentes variáveis de interesse (Pereira, 2014), podendo estas ser definidas por diferentes técnicas, tais como: vizinho mais próximo (neighbor nearest), krigagem e inverso do quadrado da distância (IQD) (Curi, 2014). Após esta definição, o teor de cada bloco é conhecido e o modelo de blocos é utilizado então para se definir se um dado bloco será ou não lavrado (Carli, 2018).

De acordo com Costa, 2010 apud Teixeira et al, 2019, empresas de mineração utilizam sistemas de roteirização (despacho) para os diferentes equipamentos na mina, visando a atender dados critérios de produção preestabelecidos, tais como, blend e movimentação de uma dada frente de lavra, além de compor um banco de dados histórico, facilitando o gerenciamento da mina. Segundo Asano e Dessureault (2009), a utilização dos sistemas de despacho são largamente difundidos na indústria mineral, podendo se utilizar as informações contidas nesses sistemas como chave para a elaboração de um modelo de disposição de materiais em uma pilha.

De acordo com Young e Rogers (2021), geralmente apesar de haver uma grande quantidade de dados nos sistemas de despacho, o teor de uma dada variável é assumido como se a pilha toda fosse um único sólido homogêneo, e o teor desta variável é apenas o teor médio do destinado a mesma, conciliado com modelo operacional e de reserva. Asano e Dessureault (2009) apresentaram uma metodologia para determinar o teor médio final de uma dada substância alvo em cada bloco a partir da posição do dump (x,y,z), utilizando sistema de GPS. Nesta metodologia se considera certos parâmetros, tais como: área de influência de cada viagem, horário do dump e a precisão do GPS para filtrar possíveis outliers na base de dados. Young e Rogers (2021) apresentaram a possibilidade de uso da estatística, onde o valor aplicado ao centroide de cada bloco poderia ser estimado pela interpolação dos dumps em torno do mesmo com técnicas de Geoestatística.

## **5. Metodologia**

O presente trabalho constitui-se da elaboração de diferentes geometrias para a ampliação de um trecho de uma PDE de uma empresa de mineração presente em uma cidade de Minas Gerais, esse trecho servirá como estoque de saprólito para fechamento de outras pilhas de estéril rochoso, bem como revegetação das frentes de lavra.

A proximidade desta PDE ao acesso do britador favorece a atuação da mesma como barreira acústica, logo, simulou-se a capacidade de atenuação acústica de três geometrias, a fim de maximizar-se esse efeito. Na seleção da geometria final, avaliou-se também as atividades de

infraestrutura necessárias para a execução da mesma, o aumento de capacidade e a operacionalidade da mesma (largura de berma, largura e inclinação dos acessos, e ângulo geral das faces finais).

Nesta mina apresenta minério sulfetado, logo, para o uso deste solo em fechamento de mina o mesmo deve apresentar baixo índice de Enxofre, a fim de se evitar formação de DAM. Assim, o material destinado a pilha deve apresentar majoritariamente baixo teor de enxofre. A fim de garantir a segurança da retomada deste material no fechamento, utilizou-se informações do sistema de despacho eletrônico, disponível na base de dados da empresa, para reconstruir, como modelo de blocos, o sólido do material depositado após o encerramento da disposição do solo/saprólito na mesma, com teor das variáveis químicas de interesse, no caso em questão, o teor de Enxofre.

## 6. Resultado e discussão

A Pilha Montezuma é uma pilha de estéril antiga que se localiza em frente ao britador primário, conforme ilustrado na figura 13. A mesma é constituída de solo/saprólito de diferentes regiões da mina. Sua localização favorece a utilização da mesma para que atue como estoque de solo/saprólito a ser retomado no fechamento das faces finais das pilhas de estéril que se encontram no interior da cava, chamadas de Pilha Janaúba e Espinosa.

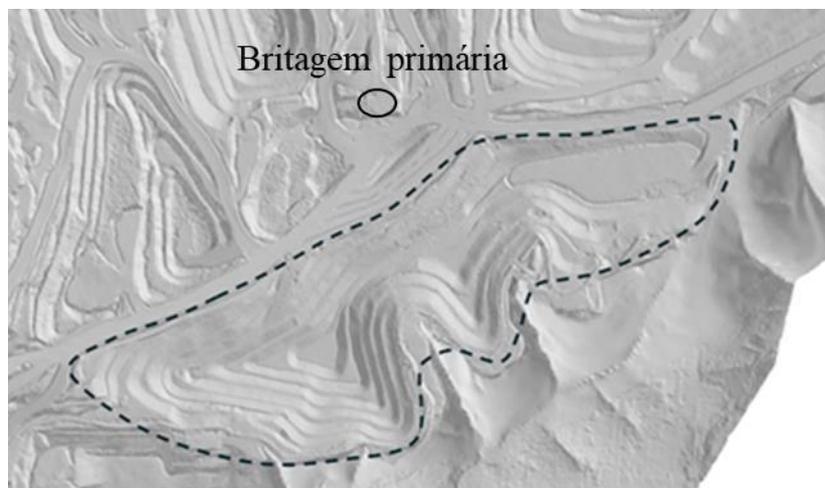
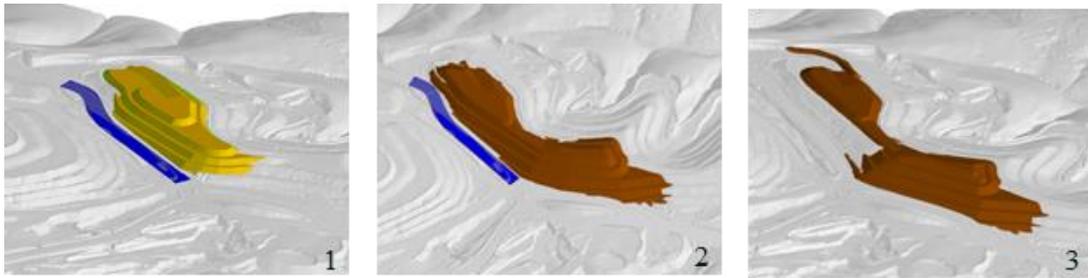


Figura 13: Pilha Antiga. (Fonte própria).

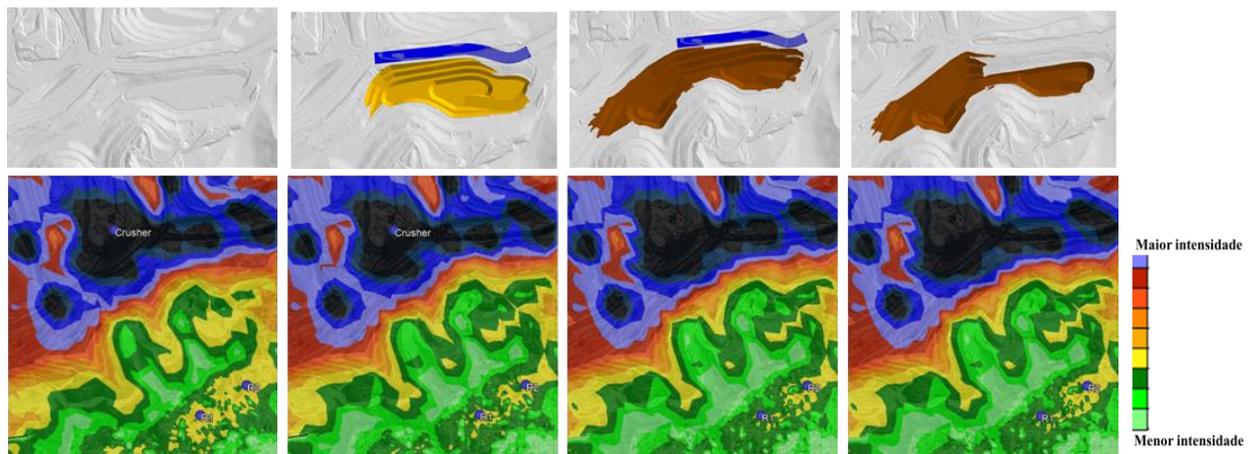
### 6.1. Geometrias

Sendo a Pilha Montezuma próxima a praça do britador primário, a ampliação em diferentes trechos contribui para atenuação acústica das operações na área, a partir disso, foram elaboradas 3 geometrias de forma que maximizasse esse efeito com a expansão no ano 2022, sendo estas representadas na figura 14.



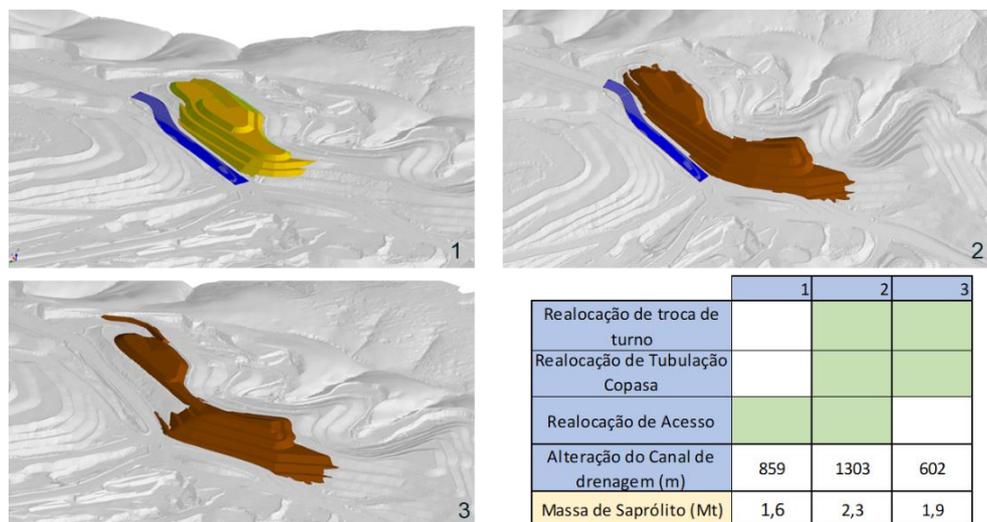
**Figura 14: Diferentes geometrias avaliadas.**

A partir das topografias projetadas das 3 geometrias, e a posição estimada dos equipamentos, tais como escavadeiras, caminhões, tratores, etc., simulou-se o efeito de atenuação sonora que cada uma provoca em relação a situação atual, sendo apresentado na figura 15. As simulações foram realizadas utilizando o software Predictor, da DGMR softwares. Este software calcula a dispersão da onda sonora criada por cada equipamento para o ambiente, e em seguida gera curvas de isovalores, correspondendo estas a intensidade sonora em cada trecho da topografia avaliada.



**Figura 15: Atenuação acústica entre as geometrias propostas e a situação atual.**

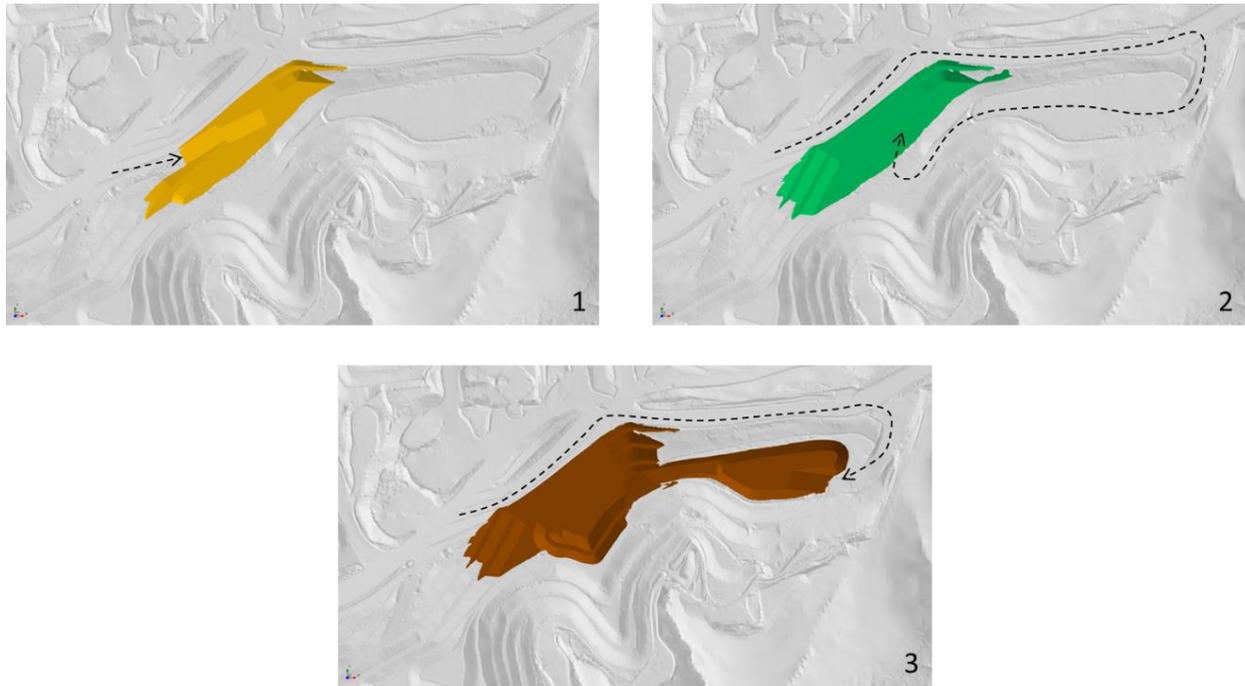
Avaliou-se, a partir da figura 15, a atenuação acústica em 2 pontos alvo e algumas variáveis operacionais, tais como estreitamento do acesso ao lado da pilha, espaço para deposição e deslocamento do canal de drenagem, sendo a geometria que apresentou melhor desempenho acústico e com melhor exequibilidade operacional a 3. A figura 16 apresenta algumas variáveis operacionais avaliadas.



**Figura 16: Variáveis operacionais de avaliadas em cada geometria.**

Observa-se que para construção da geometria 3 o custo de escavação de um novo canal de drenagem é menor, devido apresentar uma menor extensão, dispensando também a realocação do acesso em relação as outras 2 opções, mantendo uma capacidade intermediária dentre as demais avaliadas.

Definido o terceiro design como geometria alvo, elaborou-se o design de operacionalização da geometria alvo, definindo-se a execução em fases, sendo elas fase 1, fase 2 e fase 3. Durante a fase 1, a deposição se inicia no nível do acesso e cresce sobre a face do talude antigo da pilha. Nessa etapa ocorreu a deposição de 2 bancos, o 750 e 760. As rampas operacionais apresentam 40m de largura e 10% de inclinação. Concluída a fase 1, iniciou-se a fase 2, que consistiu no fechamento das rampas operacionais, ocorrendo o acesso pela região superior antiga da pilha. Após fechadas as rampas operacionais, iniciou-se a fase 3, que consistiu na ampliação do banco 770 e alteamento do banco 780. Na região oeste do banco 780 o acesso foi projetado e executado em mão única devido não apresentar espaço suficiente para acesso em mão dupla para caminhões CAT793D, com isso, o acesso durante a deposição deste trecho foi de um caminhão por vez. A figura 17 ilustra as 3 fases da deposição do material na pilha.



**Figura 17:** Fase 1- deposição iniciando pelo acesso e crescendo paralelo a face antiga da pilha. Fase 2- Fechamento das rampas operacionais utilizadas na fase 1. Fase 3- ampliação do banco 770 e alteamento do banco 780.

## 6.2. Pilhas de solo/saprólito

Atualmente há duas pilhas estéril saprólito, que se encontram em construção, chamadas de Jaíba e Manga, que serão retomados até o fim da vida útil da mina no fechamento das frentes de lavra e pilhas de estéril. Na figura 18 tem-se a topografia de setembro/2022 com os projetos de Jaíba, Manga, a geometria escolhida para a ampliação da Pilha Montezuma, e o projeto planejado para as Pilhas Janaúba e Espinosa. Em seguida, na tabela 2, tem-se as distâncias em metros entre as pilhas Jaíba, Manga e Montezuma até a Pilha Janaúba e Espinosa utilizando como referência o acesso final presente na topografia planejada ao fim da vida útil da mina, sendo as rotas ilustradas na figura 19.

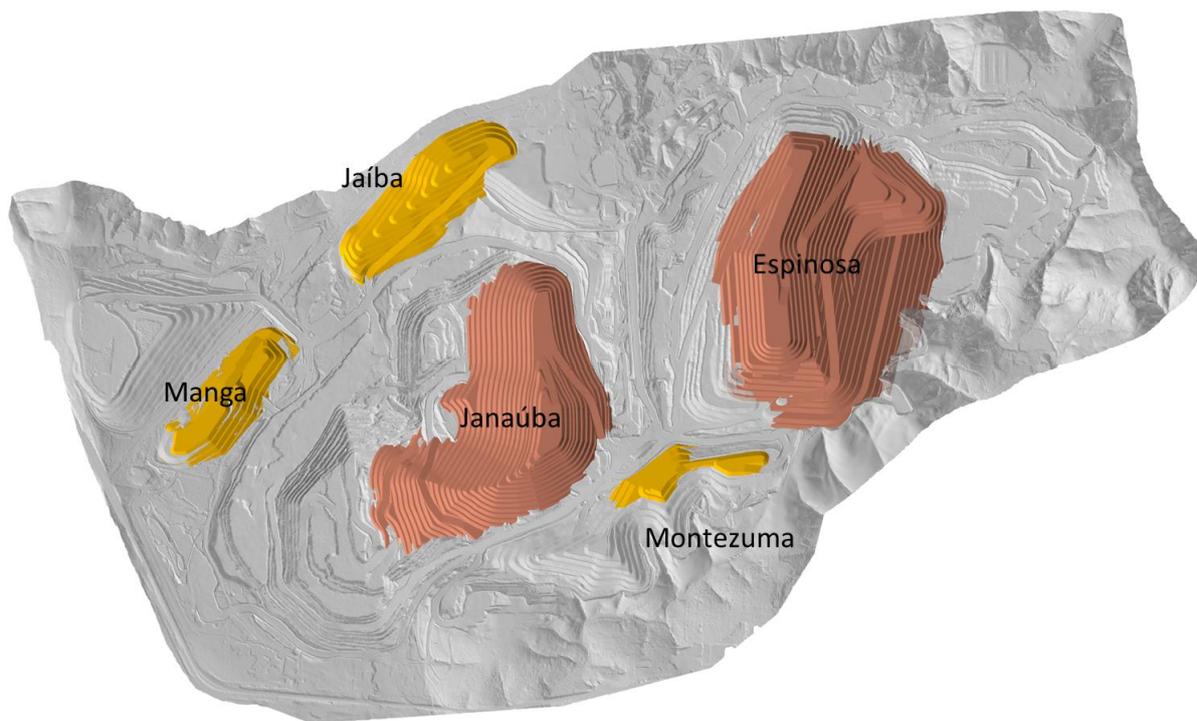


Figura 18: Pilhas de estéril saprólito e as Pilhas a serem fechadas.

Tabela 2: Distância entre as pilhas de estéreis com os estoques de solo/saprolito.

	Manga(m)	Jaíba(m)	Montezuma(m)
Espinosa(m)	7900	9100	1900
Janaúba(m)	6600	7800	1000

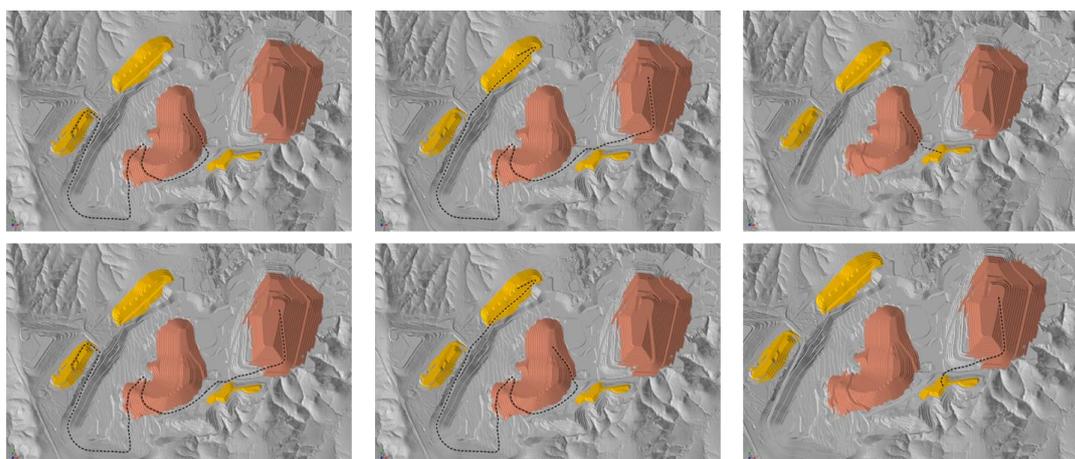


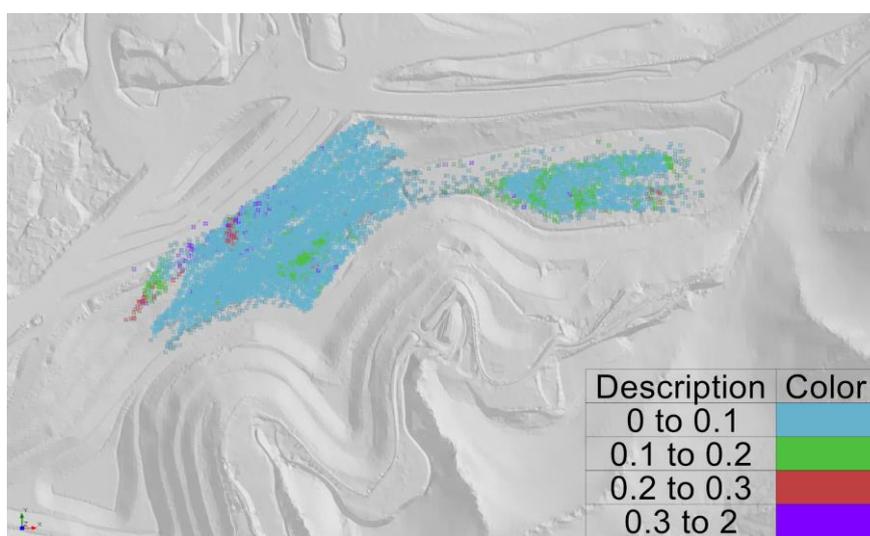
Figura 19: Distância entre as Pilhas de Saprólito para as diferentes Pilhas de estéril.

Observa-se que o uso de solo proveniente das Pilhas Jaíba e Manga, incrementa significativamente a DMT em relação a Pilha Montezuma, considerando apenas a movimentação do material da pilha de saprólito para a pilha que será fechada, Espinosa e Janaúba.

### 6.3. Controle de qualidade

O estéril da mina é caracterizado em NAF e PAF, sendo cada qual destinado para a pilha de estéril específica. O mesmo ocorre para o saprólito, para classificar o solo/saprólito NAF ou PAF é avaliado o potencial do mesmo gerar drenagem acida através do %S ou por amostragem de Blasthoe, material acumulado em forma de cone pela perfuração efetuada pelas perfuratrizes, onde neste último a amostra é submetida a ensaio de titulação visando determinar-se o NAPP, que é dado pela diferença entre o MAP e o ANC da amostra, se o valor de NAPP é negativo, indica que o solo/saprólito é NAF, e portanto, é adequado para o uso em fechamento de faces, caso positivo o mesmo é considerado PAF e portanto não poderá ser utilizado em fechamentos de faces expostas.

Na ampliação realizada em 2022 o material destinado foi NAF, o que pode ser validado com as informações de qualidade apontadas nos blocos de lavra e registradas no sistema de despacho, o Minestar da Caterpillar. Algumas viagens de material NAF rochoso foram necessárias como forro no piso de onde os caminhões trafegavam, a fim de evitar desgaste excessivo dos caminhões, pois o saprólito é um material de baixa resistência mecânica, logo, o tráfego sobre o mesmo se torna complicado devido as deformações provocadas pelo peso dos equipamentos. Na figura 20 temos os dumps na Pilha Montezuma em 2022 com legenda em percentual de enxofre.



**Figura 20: Dumps na Pilha Montezuma em 2022.**

### 6.4. Reconstrução de teores para retomada

Para uso futuro do material presente na pilha, necessita-se a reconstrução da mesma em forma de blocos de lavra, com as devidas qualidades definidas. Para tal, gerou-se o sólido referente ao volume de material depositado na pilha a partir da topografia anterior a deposição e depois de concluída, em seguida, cortou-se este sólido em blocos, seguindo o grid padrão utilizado na mina, formando assim os blocos a serem utilizados na lavra deste material. A figura 21 mostra o

material depositado em 2022 após encerradas as atividades de deposição programadas na Pilha Montezuma.



**Figura 21: Região ampliada em 2022.**

A partir das informações disponíveis no sistema de despacho, atribuiu-se às qualidades nos blocos utilizando o método do vizinho mais próximo (neighbor nearest). Neste método, cada dump recebe o identificador do bloco mais próximo ao mesmo, em seguida, o bloco recebe o teor das diferentes variáveis, tais como S, As, BWI, etc., ponderados pela massa dos os dumps que apresentam o seu identificador como atributo, compondo assim os teores das variáveis de interesse em cada bloco. Há blocos que não tiveram nenhum dump associado, devido serem blocos marginais (cascas), sendo assim, os atributos de qualidade atribuídos a estes são os mesmos do bloco mais próximo a ele. A figura 21 apresenta como ficou a reconstrução em blocos com legenda de enxofre e na figura 22 apresenta esta mesma reconstrução, mas separada por bancos.

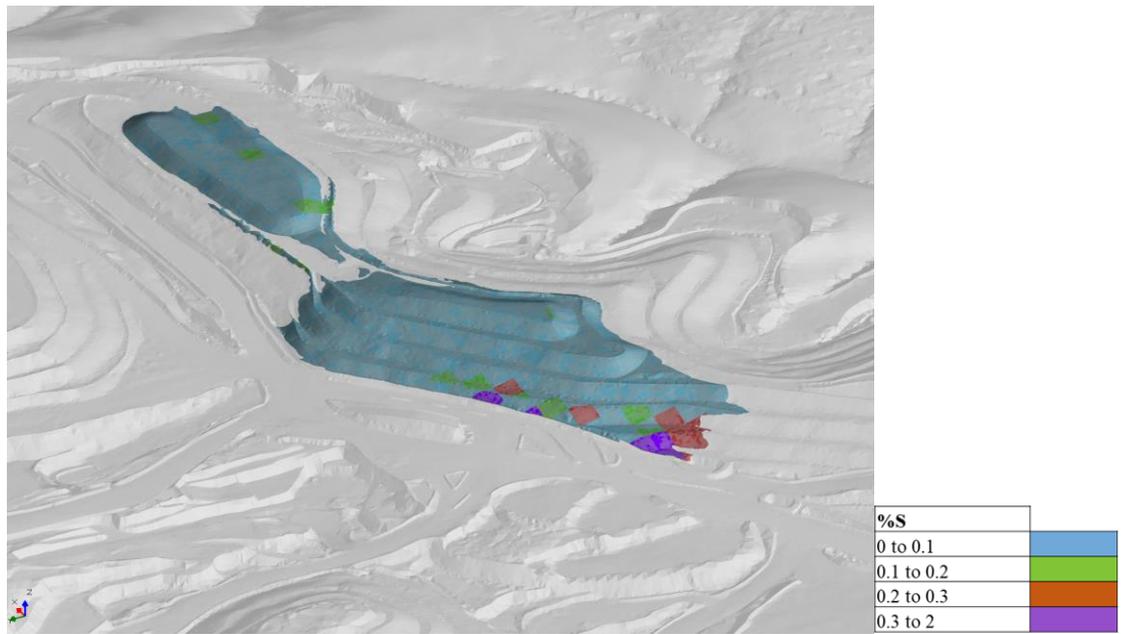


Figura 22: Estoque de saprólito modelado em blocos para lavra futura vista frontal completa.

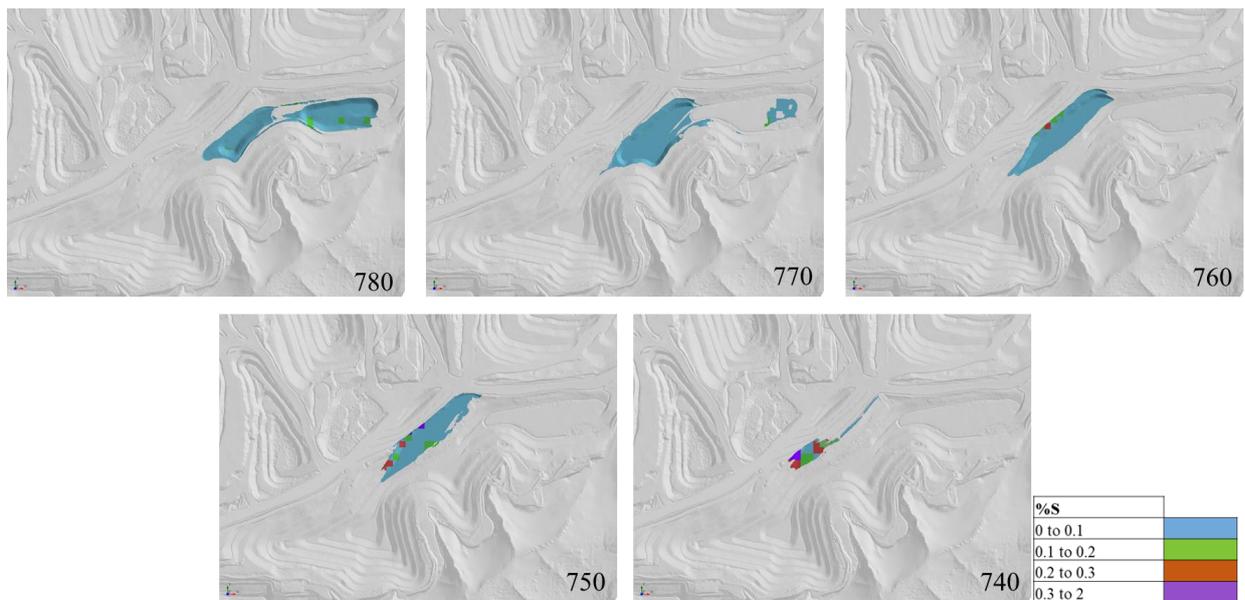


Figura 23: Estoque de saprólito cortado em bancos, vista superior.

## 7. Conclusão

Neste trabalho buscou-se fazer o uso estratégico para o uma pilha de estéril saprólito, de forma que a localização e geometria da mesma ofereçam mais que simplesmente um local de deposição de material estéril, mas uma alternativa de redução de custos pela diminuição na distância média de transporte no fechamento de pilhas de estéril próximas e uma forma auxiliar na atenuação do ruído proveniente das operações na mina.

A Pilha Montezuma está muito mais próxima a Pilha Janaúba e Espinosa do que as pilhas Jaíba e Manga, o que traz significativa redução no custo de transporte, em contrapartida, pela topografia planejada a cava avança é em sentido sudoeste, o que torna as Pilhas Jaíba e Manga mais próxima do que a Pilha Montezuma as frentes de lavra em que será retirado o saprólito remanescente a sua construção. Outro ponto relevante é que se avaliou apenas a movimentação do saprólito de uma pilha para outra, o que pode não ser necessário se durante a lavra houver frentes com saprólito para realizar o fechamento das faces finais da Pilha Janaúba e Espinosa, fazendo-se assim o transporte apenas uma vez e dispensando o uso de Pilhas de Saprólito, o que reduz o custo de operação devido não ocorrer a atividade de carregamento novamente.

Através do uso da simulação acústica, que é baseada na atenuação do som emitido pelos diferentes equipamentos da mina, pode-se concluir que diferentes geometrias proporcionam resultados distintos na atenuação de ruído, o qual pode ser utilizada como medida de controle ambiental.

As informações disponíveis nos sistemas de despacho eletrônico mostram-se uma ferramenta eficiente na reconstrução de pilhas, estoques, etc., pois, a partir das mesmas é possível definir o valor de diferentes variáveis em um bloco que venha a ser lavrado. No entanto, a depender da variável alvo no processo, recomenda-se a amostragem do material, pois pode-se ocorrer falhas no gps dos equipamentos, imprecisão, arraste do material por tratores para além da dimensão do bloco, etc. tornando o uso das informações do despacho insuficientemente precisas para uso exclusivo.

## 8. Bibliografia

ABREU, Carolina Bittencourt. **Influência da fase gasosa como ferramenta auxiliar no diagnóstico do potencial de geração de drenagem ácida de rocha**. 2013. 191f. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ALVES, Francisco Evando. Questão de Sobrevivência. **Brasil Mineral**. São Paulo. v 34, n 376, p. 3, nov. 2017.

ANDRADE, Marina Arêas de. **Metodologia de construção de depósito estéril de rocha ornamental**. 2021. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, 2021.

ANDRADE, Vivianne de Cássia Paixão. **A importância das operações de infraestrutura de mina – um estudo sobre as atividades realizadas na lavra de bauxita pela mineração paragominas s/a**. 2014. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2014.

ARAGÃO, Gianni Aparecida Santana. **Classificação de Pilhas de Estéril na Mineração**. 2008. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10151**: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas —Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10152**: Níveis de Ruídos para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13029**: Mineração – elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13030**: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9061**: Segurança de escavações a céu aberto. Rio de Janeiro, 1985.

BERNARDI, H. A. **Dimensionamento de equipamentos para as operações unitárias de lavra de mina a céu aberto**. 2015. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Centro Universitário Luterano de Palmas, 2015.

BEZERRA, Erbertt Barros. **Nova metodologia de análise de indicadores operacionais do planejamento de lavra de curto prazo**. 2022. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering noise control: theory and practice**. 4ed. Abingdon. Spon Press. 2009. 768p.

BORMA, L. S.; SOARES, P. S. M. Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração. TRINDADE, R. B. E.; BARBOSA FILHO, O. eds. **In: Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Cap.10. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p.253-276.

BRASIL, Lei. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, p. 2.166-67, 1981.

BRASIL, Lei. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado no DOU em, v. 2, 1981.

BRASIL. **NR 22: Segurança e saúde ocupacional na mineração**, 1978. Brasília: Ministério do trabalho e emprego, 1978. Disponível em: < <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-22-atualizada-2022.pdf> >. Acesso em 01 de Dezembro de 2022.

BRITISH COLUMBIA MINE DUMP COMMITTEE; PITEAU ENGINEERING LTD. **Investigation and design of mine dumps**: Interim guidelines. The Committee, maio, 1991. 177p.

BRONZATTI, Giovani D.; KOHLER, Raquel; SPECHT, Luciano P. Avaliação do ruído causado pelo transporte ferroviário na cidade de Ijuí/RS. **Salão do conhecimento**, v. 1, p. 1- 12, 2009.

CARDOSO, Bruno Rocha. **Recuperação de depósitos de estéril em mina de fosfato com aplicação de Topsoil**. 2020. 65f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

CARLI, Carla de. **Aplicação do método de opções reais no planejamento de pilhas de estoque na mineração**. 2018. 144f. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CARNEIRO, Welington Monteiro. **Modelo de simulação computacional para avaliação de segurança do tráfego de caminhões em minas a céu aberto**. Anais do XVII simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha-SPOLM, n. 1, 2014.

COSTA, Glayce Wivyanne Oliveira et al. **Critérios operacionais para redução da contribuição de sedimentos gerados em pilhas de estéril**. 2018. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018.

CURI, A. **Minas A Céu Aberto Planejamento de Lavra**. São Paulo. Oficina Textos, 2014, 376.

MELLO, Jaime WV; DUARTE, Helio A.; LADEIRA, Ana Cláudia Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. In: **Cadernos Temáticos de Química nova na escola**, n° 8, 2014, p. 24-29.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. Mineração e meio ambiente no Brasil. **Relatório do CGEE/PNUD**, v. 76, n. 2, p. 1-42, 2002.

FREIRE, Lucas de Almeida e Silva. **Infraestrutura de mina a céu aberto: atividades e equipamentos**. 2019. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

FERREIRA, Felipe Artur Bernardo. **Pilha de Estéril: Dimensionamento e Classificação**. 2016. 89f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

FORGEARINI, Ray Garcia et al. Metodologia de avaliação ambiental na análise de alternativas locacionais de pilhas de estéril. In: **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, p. 80-97, jul. 2015.

FREITAS, Elisabete F.; TRABULO, Luís. **Desempenho de Barreiras Acústicas: dois métodos de avaliação**, n 29, 2007.

FREITAS, Sandro Bernard Moreira de. **Planejamento estocástico de lavra: metodologias de simulação, otimização e gestão de risco para a mina do futuro**. 2015. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

GEVÚ, Nayara V. et al. Mapa de ruído como ferramenta de diagnóstico e projeto. **Acústica e Vibrações**, Rio de Janeiro, V. 33, n. 50, p. 93–106, dez. 2018.

GOMES, Sannie Martins Amaro et al. **Sequenciamento de deposição do material de baixo teor referente às pilhas 3 e 4 do projeto posse: Amarillo Gold**. 2021. 41f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

GONÇALVES, Rui Pedro Ribeiro. **Atenuação sonora de barreiras acústicas**. 2014. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

GROSSI, Sarah Bettoni. **Análise da influência do dimensionamento de veículos de carregamento e transporte nos custos operacionais de uma mina a céu aberto**. 2022. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

HAMDANI, Ahmad Helman et al. Evaluation of Acid-Base Accounting to Predict the Acid Water of Overburden in Coal Mines in Horna Areas, West Papua Province, Indonesia. **Journal of Geological Sciences and Applied Geology**, v. 2, n. 3, p. 1-8, 2017.

HEIKKINEN, Päivi et al. **Mine Closure Handbook: Environmental Techniques for the Extractive Industry**. Espoo, Geological Survey of Finland, 2008. 170p.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open Pit Mine Planning & Design**. Rotterdam, v.1, Balkema Publishers; Student ed. Edition, 1995. 636p.

JONES, David R. et al. **Preventing acid and metalliferous drainage-Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry**. Canberra, Commonwealth of Australia, 2016. 221p.

LEITE, Jéssica de Souza Madureira. **Previsão de drenagem ácida por meio de testes estáticos do material do bota fora 4 da mina Osamu Utsumi–Caldas/MG**. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

LIMA, Valmiqui Costa et al. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. 1ºed. Curitiba: UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. 141p.

MANDARINO, Matheus Ferreira. **Análise de métodos para planejamento de curto prazo: uma abordagem para o line up**. 2018. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MEDEIROS, Poliana M. et al. Estudo de caso e alternativas para falha na revegetação de taludes por hidrossemeadura na Mina do Andrade (MG). In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 5ºed. Belo Horizonte. 2014.

MELO, Lucas da Rocha de. **Estudo da capacidade de atenuação acústica da manta residual de acetato de vinila etil (EVA) em escala absoluta**. 2017. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

NUNES, Diego dos Ramos. **Comportamento geotécnico de pilha de estéril formada pelo método de disposição por correia**. 2014. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

PARROTTA, John A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. In: **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 41, n. 2, 1992. Amsterdam: Elsevier Science, p. 115-133.

PELLISSARI, Fabricio Pereira. **Projeto de estradas para mineração–caracterização e análise de aplicações práticas**. 2019. 106f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

PULINO, Alexandre Masocatto. **Índices de estimativa de custos de fechamento de pilhas de estéril e barragens de rejeitos**. 2010. 136f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

RIBEIRO, Alexandre Gonçalves. **Dimensionamento de frota: Um estudo de caso em uma empresa mineradora**. 2017. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de higiene ocupacional e PPRA: avaliação e controle dos riscos ambientais**. 11 ed. São Paulo: LTr Editora LTDA, 2021. 404p.

SENSOGUT, Cem; CINAR, Ibrahim. An empirical model for the noise propagation in open cast mines – A case study. **Applied Acoustics**, v. 68, n. 9, p. 1026-1035, set. 2007.

STEWART, Warwick A.; MILLER, Stuart D.; SMART, Roger. Advances in Acid Rock Drainage (ARD) characterisation of mine wastes. In: 7th **International Conference on Acid Rock Drainage**. St. Louis, 2098-2119p, mar. 2006.

SUTTHIRAT, Chakkaphan. Geochemical application for environmental monitoring and metal mining management. EKUNDAYO, Ema O. **Environmental monitoring**. Rijeka: IntechOpen, 2011, cap. 6, p. 91-108.

TAKAHASHI, Asano, A.; DESSUREAULT, S. D. Block model reconstruction using truck fleet management system data. **Mining Technology**, v. 118, n. 2, p. 53-58, jul. 2009.

TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez et al. Avaliação da melhoria de desempenho da frota de transporte e carregamento de uma mineradora aliando ferramentas estatísticas ao software de despacho eletrônico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 30928-30939, dez. 2019.

XIMENES, Gustavo Faria. **Plano mensal de lavra de uma mina de ferro localizada no Quadrilátero Ferrífero: um estudo de caso**. 2018. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro preto, 2018.

YOUNG, Aaron; ROGERS, William Pratt. Modelling Large Heaped Fill Stockpiles Using FMS Data. **Minerals**, Basel, v. 11, n. 636, 22p, jun. 2021.