



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS - DEMIN**



**CASSIO HENRIQUE DE PAIVA FILHO**

**ANÁLISE DE FRAGMENTAÇÃO DE UM DESMONTE DE ROCHAS PARA  
AJUSTE DE RAZÃO DE CARGA EM MINA A CÉU ABERTO**

Ouro Preto  
Abril de 2025

CASSIO HENRIQUE DE PAIVA FILHO

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Ouro Preto  
Abril de 2025



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Cassio Henrique de Paiva Filho**

### **Análise de Fragmentação de um Desmonte de Rochas para ajuste de razão de carga em mina a céu aberto**

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

Aprovada em 11 de abril de 2025

#### Membros da banca

Dr. - Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto  
MSc.- Emanuel Itauqe - Universidade Federal de Ceara  
Eng.- DAnilo Jose da Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Carlos Enrique Arroyo Ortiz, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Enrique Arroyo Ortiz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/04/2025, às 09:37, 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 **0894542** e o código CRC **312850A3**.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer profundamente a todos que participaram dessa caminhada e contribuíram para o atual momento de conclusão do curso.

Primeiramente, agradeço a Deus por proporcionar todas as oportunidades que convergiram para a conclusão de mais uma etapa de minha vida.

Aos meus pais, Mary e Cassio, por todo apoio, amor e sacrifício durante toda a minha vida, servindo sempre de inspiração para alcançar meus objetivos. Tudo o que foi conquistado foi razão dos seus esforços.

Agradeço também aos meus familiares, avós, irmã e tios. Sebastiana, Zulmira, Walter, Eduarda, Doris, Cheila, Luciana e Samuel. Seus apoios familiares foram essenciais para que essa caminhada fosse mais leve. Especialmente ao meu avô Aurelino, pelo apoio e por me inspirar a seguir esta carreira.

Agradeço minha companheira Amanda por todo amor e suporte nos momentos mais difíceis e me apoiar em todas as etapas desse desafio acadêmico.

Aos meus amigos de Ouro Preto, Emilcy, Taís, Vagner, Fernanda, e também a todos os moradores e amigos da república Taturrodano por compartilhar essa caminhada comigo.

Ao meu orientador Carlos Enrique Arroyo Ortiz por sua orientação durante o trabalho. Seu auxílio foi essencial para execução do estudo no desmonte de rochas. Ao Professor Carlão pelo auxílio e por ser responsável por abrir portas durante a minha graduação. As experiências obtidas foram valiosas para minha carreira.

Agradeço a Kinross Brasil Mineração por me proporcionar um estágio incrível que determinou o seguimento de minha carreira e me proporcionou ensinamentos únicos dessa área. Agradeço também aos meus amigos de Paracatu, que compartilharam essa experiência incrível, Ana, Brenda, Casla, Eliabe e Leonardo.

E finalmente a todos que fizeram a diferença e contribuíram em minha graduação. Obrigado por tudo.

## RESUMO

A mineração é uma atividade intrinsecamente ligada ao desenvolvimento do ser humano desde seu uso para ferramentas armas e afins. Com o avanço tecnológico, a demanda por matérias primas vem crescendo constantemente para suprir as necessidades da sociedade, porém, cada vez mais os recursos superficiais tornam-se escassos, fazendo com que seja mais recorrente optar por minas mais profundas ou subterrâneas. Por esse motivo, os projetos de mineração acabam reféns de operações como desmonte de rocha para desagregar materiais mais resistentes para que, assim, as operações subsequentes de carregamento e transporte se tornem mais eficientes e produtivas. Este trabalho tem como objetivo analisar os resultados de um ajuste de razão de carga no desmonte de rochas com intuito de redução de blocos provenientes de desmontes realizados em uma mina a céu aberto. Para isso, foi analisada a ocorrência de blocos em uma região isolada da mina, onde foi possível delimitar uma área problemática para realização do ajuste de razão de carga de 500 para 600 g/t. Ao analisar os resultados de fragmentação a partir do Power Sieve 3, os resultados indicam uma melhoria na fragmentação, evidenciada pela diminuição do P80 de 122,5 para 117,1 mm. Embora tenha ocorrido a melhora de fragmentação, esse aumento da razão de carga incrementa na densidade de furos implicando em custos operacionais adicionais, o que demanda uma análise econômica mais aprofundada e a consideração de outros fatores para determinar a causa da geração de blocos, como a qualidade da perfuração e a geometria dos planos de fogo, para a viabilidade prática da implementação deste ajuste.

**Palavras-chave:** Desmonte de rochas, razão de carga, fragmentação, blocos

## ABSTRACT

Mining is an activity intrinsically linked to human development, from its use for tools, weapons, and the like. With technological advancements, the demand for raw materials has been constantly growing to meet the needs of society. However, increasingly, surface resources are becoming scarce, making it more common to opt for deeper or underground mines. For this reason, mining projects often become reliant on operations such as rock blasting to break down more resistant materials so that subsequent loading and transportation operations become more efficient and productive. This work aims to analyze the results of a powder factor adjustment in rock blasting with the goal of reducing the number of blocks resulting from blasts performed in an open-pit mine. To do this, the occurrence of blocks was analyzed in an isolated area of the mine, where it was possible to delimit a problematic area to make the powder factor adjustment from 500 to 600 g/t. By analyzing the fragmentation results using Power Sieve 3, the results indicate an improvement in fragmentation, evidenced by the reduction in P80 from 122.5 to 117.1 mm. Although fragmentation improved, this increase in powder factor raises the density of holes, leading to additional operational costs, which requires a more in-depth economic analysis and consideration of other factors to determine the cause of block generation, such as drilling quality and the geometry of the blast plans, to assess the practical feasibility of implementing this adjustment.

**Keywords:** Rock blasting, powder factor, fragmentation, blocks.

## LISTA DE FIGURA

Figura 1: Fluxograma de tipo de explosivos .....	12
Figura 2: Variáveis de um plano de fogo .....	16
Figura 3: Tipos de malhas de perfuração .....	17
Figura 4: Fluxograma do sequencial metodológico .....	20
Figura 5: Banco de dados descarte de blocos.....	21
Figura 6: Dados de descarte de blocos compilados e tratados .....	22
Figura 7: Seleção de partículas com esfera de referencial de escala realizado no Power Sieve 3 .....	24
Figura 8: Localização de origem de carregamentos com blocos no banco superior .....	26
Figura 9: Localização de origem de carregamentos com blocos no banco inferior .....	27
Figura 10: Representação de como a área de influência de explosivos se comporta em diferentes tipos de furos .....	28
Figura 11: Delimitação de área teste .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros para escolha de razão de carga a partir da resistência da rocha .....	18
Tabela 2: Parâmetros de desmonte pré-teste .....	29
Tabela 3: Resultados de análise de fragmentação anterior ao teste .....	30
Tabela 4: Parâmetros de desmonte pós-teste .....	30
Tabela 5: Resultados de análise de fragmentação após o teste .....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
	2.1 Objetivo Geral .....	10
	2.1 Objetivos Específicos.....	10
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
	3.1 Desmonte de rocha.....	11
	3.2 Desmonte com explosivos .....	11
	3.2.1 Tipos de explosivos .....	12
	3.3 Mecanismos de fragmentação .....	13
	3.3.1 Fase Dinâmica da Fragmentação .....	13
	3.3.2 Fase Semi-Estática da Fragmentação .....	14
	3.4 Plano de fogo .....	15
	3.5 Malha de perfuração .....	17
	3.6 Razão de carga.....	18
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>20</b>
	4.1 Escolha de parâmetros .....	20
	4.2 Tratamento de dados .....	21
	4.3 Identificação de área problemática .....	22
	4.4 Nova proposta de RC.....	23
	4.5 Medição de fragmentação.....	23
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>24</b>
	5.1 Nova proposta de razão de carga .....	24
	5.2 Justificativa de estudos .....	25

<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>26</b>
6.1 Localização de descartes.....	26
6.2 Definição de área de ajuste .....	28
6.3 Análise de fragmentação .....	29
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade milenar, intrinsecamente ligada ao desenvolvimento da humanidade. Desde os primórdios, o ser humano extrai minerais fundamentais para a fabricação de ferramentas, armas, construções, o que contribuiu decisivamente para o avanço tecnológico e econômico das civilizações. Tal importância ressalta o papel crucial da mineração para a formação da sociedade moderna (CARMO, 2023).

Com o crescimento populacional e aumento tecnológico, a demanda por insumos e matérias-primas aumentou significativamente. Por conta disto, juntamente com o esgotamento progressivo das jazidas superficiais, a exploração de depósitos localizados em profundidades elevadas vem sendo cada vez mais visados, sendo opções mais estudadas, no qual os desafios técnicos, econômicos e operacionais se intensificam (DIAS et. al).

Um dos principais desafios presentes nesse cenário é a dureza das rochas, que demanda de mais energia e custos para a sua remoção e tratamento, dificultando assim as operações. A partir disso, observa-se a importância dos métodos de desmonte de rochas para a liberação do material minerado, possibilitando a sua extração de maneira controlada e segura. A utilização do desmonte de rochas traz benefícios significativos para toda atividade mineral. Entre eles se destaca o aumento de produtividade de equipamentos de carga e redução de custo de etapas subsequentes como beneficiamento mineral (DORNELES, 2013),

Apesar dos benefícios gerados, o desmonte apresenta desafios em sua execução. Problemas como má fragmentação, projeção de materiais, vibração, poeira e geração de blocos são constantemente discutidos e estudados para serem mitigados em um desmonte de rochas. A má fragmentação pode, por exemplo, diminuir a produtividade da operação, além de parar a produção por completo nos casos em que matacos são alimentados em britadores (PONTES, J. C, et al. 2016)

Por conta desses desafios citados, o trabalho a seguir trata-se de estudos relacionados a técnicas e testes para diminuição da ocorrência de blocos em um estudo de caso que apresenta má fragmentação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O principal objetivo do trabalho é analisar o teste de ajuste de razão de carga em uma área de grande ocorrência de blocos em uma mina de ouro a céu aberto a partir de análises granulométricas comparativas entre os cenários.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Definir a área problemática de aplicação do teste;
- Propor um ajuste de carga com intuito de melhoria de fragmentação do desmonte com base na ocorrência de blocos;
- Analisar a fragmentação do desmonte com as diferentes razões de carga para validação do teste realizado.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta uma revisão literária dos temas relevantes para este trabalho.

#### **3.1 Desmorte de rocha**

O desmorte de rochas na mineração consiste em uma etapa de operação de mina com finalidade primária de fragmentar o maciço rochoso a fim de possibilitar o transporte e realização de etapas subsequentes de forma controlada. O tipo de desmorte a ser utilizado depende de algumas características de cada material (VILAS BOAS, 2022).

Segundo Silva, (2001) existem três principais tipos de desmorte. O desmorte mecânico consiste na retirada da rocha diretamente com equipamentos móveis como carregadeiras e retroescavadeiras e é utilizado geralmente em situações de rochas mais brandas em que com apenas a energia do equipamento é possível retirar o material. O desmorte hidráulico utiliza jatos de alta pressão para desagregar o material e sua utilização também se dá em rochas menos competentes assim como o desmorte mecânico. Suas aplicações abrangem operações como remoção de materiais de barragem e mineração de carvão a céu aberto. Em casos em que a rocha tem maior resistência e os métodos anteriores não atendem as necessidades da operação, o desmorte por explosivos é utilizado. Esse método utiliza-se de diferentes tipos de explosivos para reduzir a granulometria a partir de rupturas causadas no maciço.

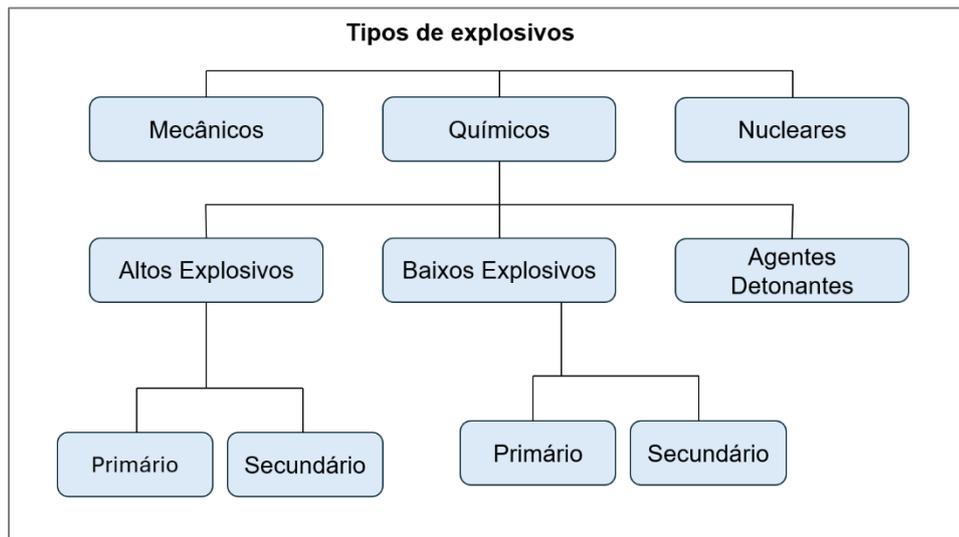
#### **3.2 Desmorte com explosivos**

O uso de explosivos é a técnica com maior aplicação no cenário de mineração, construção civil e afins e a mais eficiente devido sua capacidade de desmontar grandes volumes de rocha, possuir baixo tempo operacional e alta diversificação de cenários em que pode ser utilizado. Toda a metodologia se baseia na liberação rápida e controlada de energia química armazenada nas substâncias.

### 3.2.1 Tipos de explosivos

Segundo Silva, (2001), os tipos de explosivos podem ser classificados pela sua composição, utilização e ação, sendo os de composição química os mais utilizados na mineração. A figura 1 apresenta como os explosivos podem ser classificados.

Figura 1: Fluxograma de tipo de explosivos



Fonte: Silva, 2001

- a) altos explosivos: caracterizados por elevadas velocidades de reação, que variam entre 1.500 e 9.000 m/s, além de altas pressões, que podem alcançar até 4 milhões de psi. Dependendo do mecanismo de iniciação, esses explosivos podem ser subdivididos em:
- **Primários:** Explosivos que podem ser iniciados por chama, centelha ou impacto.
  - **Secundários:** Necessitam de um estímulo inicial de maior intensidade para serem detonados. Exemplos de altos explosivos incluem o TNT, dinamites e gelatinas explosivas.
- b) baixos explosivos: também chamados de deflagrantes, possuem velocidades de reação consideravelmente menores e desenvolvem pressões máximas de até 50.000 psi. Exemplos comuns são a pólvora e os

explosivos permissíveis, que são empregados principalmente em operações de menor risco ou que requerem controle mais rigoroso.

- c) Agentes detonantes: essa categoria abrange misturas cujos componentes não são, individualmente, classificados como explosivos, porém, quando combinados, esses materiais podem ser iniciados e detonados de maneira eficaz. Exemplos de agentes detonantes incluem ANFO (Nitrato de Amônio e Óleo Combustível), ANFO com Alumínio (ANFO/AL), lama explosiva e emulsões.

### **3.3 Mecanismos de fragmentação**

Para que a operação de desmonte seja eficiente, quatro fatores fundamentais devem ser considerados: (i) obtenção de uma fragmentação adequada, compatível com os equipamentos de carregamento e britagem; (ii) deslocamento, movimentação e lançamento controlado da pilha desmontada; (iii) mitigação dos impactos ambientais, como vibrações, ruído e lançamento de partículas; e (iv) minimização dos danos ao maciço rochoso remanescente (MORAIS E GRIPP, 2004).

O processo de fragmentação no desmonte ocorre em duas fases principais: fase dinâmica, caracterizada pela ação inicial das ondas de choque e propagação das tensões, e fase semi-estática, na qual os gases de detonação exercem um papel determinante na extensão das fraturas e no deslocamento dos fragmentos.

#### **3.3.1 Fase Dinâmica da Fragmentação**

A fase dinâmica corresponde no período inicial do desmonte, tendo predominância a ação das ondas de choque geradas pela detonação do explosivo. A reação química do material explosivo resulta na formação de uma onda de compressão, que se propaga através do maciço rochoso em velocidades que variam entre 2.000 e 6.000 m/s. Essa onda de choque é capaz de atingir pressões superiores a 1800 MPa, superando a resistência dinâmica à compressão da rocha e promovendo sua fragmentação inicial (Scott, 1996).

Segundo Scott (1996), a fase dinâmica pode ser subdividida em diferentes fenômenos mecânicos:

**Trituração da Rocha:** Nos instantes iniciais da detonação, a onda de choque gera uma compressão extrema na região próxima ao furo de desmonte, destruindo a estrutura intercrystalina e intergranular da rocha, resultando na formação de uma zona de material altamente fragmentado.

**Fraturamento Radial:** Conforme a onda de choque se propaga, a rocha adjacente ao furo é submetida a tensões de compressão radial, que geram tensões de tração nos planos tangenciais da onda. Se essas tensões ultrapassarem a resistência dinâmica à tração da rocha, inicia-se o desenvolvimento de fraturas radiais, que se expandem ao longo da zona impactada.

**Reflexão da Onda de Choque:** Ao alcançar uma superfície livre, a onda de choque gera ondas de tração e cisalhamento. A onda de tração pode provocar fissuramento e descamação na superfície livre, enquanto ambas as ondas podem estender fissuras pré-existentes, aumentando a fragmentação do maciço.

A fase dinâmica se encerra quando as fraturas tangenciais começam a se formar a partir da superfície livre, indicando o início da propagação das fissuras secundárias impulsionadas pelos gases de detonação.

### **3.3.2 Fase Semi-Estática da Fragmentação**

Após a dissipação inicial das ondas de choque, a fragmentação da rocha continua por meio da ação dos gases de detonação, que exercem pressão nos planos de fratura formados na fase dinâmica. Esse processo é essencial para completar a separação dos fragmentos e proporcionar o deslocamento adequado do material desmontado (Silva,2001)

A fase semi-estática pode ser descrita pelos seguintes mecanismos:

**Expansão dos Gases e Abertura de Fissuras:** Os gases gerados durante a detonação penetram nas microfissuras e fraturas radiais, expandindo-as e promovendo a separação dos fragmentos. Esse efeito é particularmente relevante para materiais mais resistentes, onde as fraturas iniciais não são suficientes para gerar a fragmentação desejada.

**Fratura por Cisalhamento:** Em maciços rochosos estratificados, a diferença de módulos de elasticidade entre camadas pode resultar em ruptura ao longo dos planos de separação. Esse fenômeno ocorre quando os blocos de rocha adjacentes se deslocam em tempos ou velocidades distintas, impulsionados pela pressão dos gases de detonação.

**Lançamento e Deslocamento dos Fragmentos:** À medida que os gases continuam sua expansão, ocorre o deslocamento dos fragmentos rochosos. A geometria da malha de perfuração e o tipo de explosivo influenciam diretamente a direção e a intensidade desse deslocamento.

### **3.4 Plano de fogo**

O plano de fogo é uma das principais atividades para execução de um desmonte de rochas, sendo responsável pelo planejamento da perfuração e carregamento dos furos. Um plano de fogo bem elaborado deve considerar diversos parâmetros técnicos para otimizar os resultados do desmonte, reduzindo vibrações, sobre escavação e geração de blocos indesejados (VILAS BOAS, 2022).

Segundo Brasil (2024), a Norma Regulamentadora NR-22, que trata da segurança e saúde ocupacional na mineração, estabelece que todo desmonte com explosivos deve ser precedido de um plano de fogo detalhado contendo os seguintes elementos:

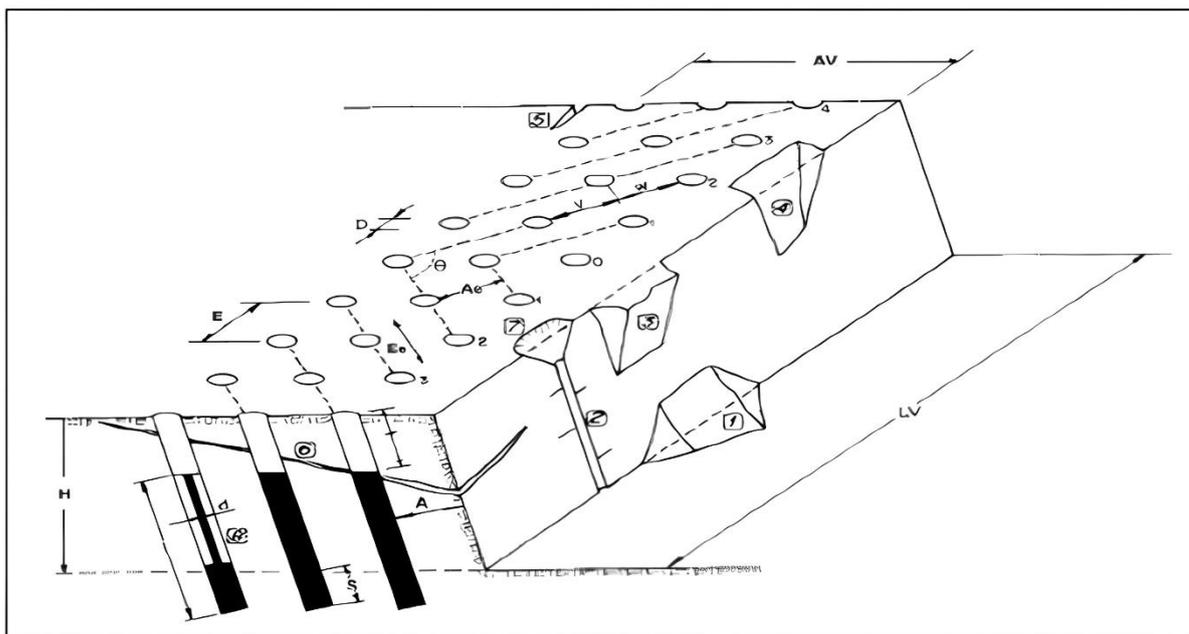
- a)** croqui com distribuição e arranjo dos furos;
- b)** profundidade dos furos;
- c)** quantidade de explosivos planejada por furo e total utilizado no desmonte;
- d)** tipos de explosivos e acessórios utilizados;
- e)** sequência das detonações;
- f)** razão de carregamento;
- g)** volume a ser desmontado;
- h)** tempo mínimo de retorno após a detonação.

Além dessas informações exigidas outras informações adicionais são comumente encontradas nos planos de fogo, como por exemplo:

- Raio de isolamento;
- Material e tamanho do tampão;
- Responsável técnico
- Diâmetro e perfuração;
- Localização e data;
- Quantidade a ser utilizada de acessórios;
- Informações de vibração prevista do fogo.

Para realização de cálculos de vários parâmetros presentes no plano de fogo, algumas variáveis geométricas do processo são utilizadas. A figura 2 representa algumas variáveis.

Figura 2: Variáveis de um plano de fogo



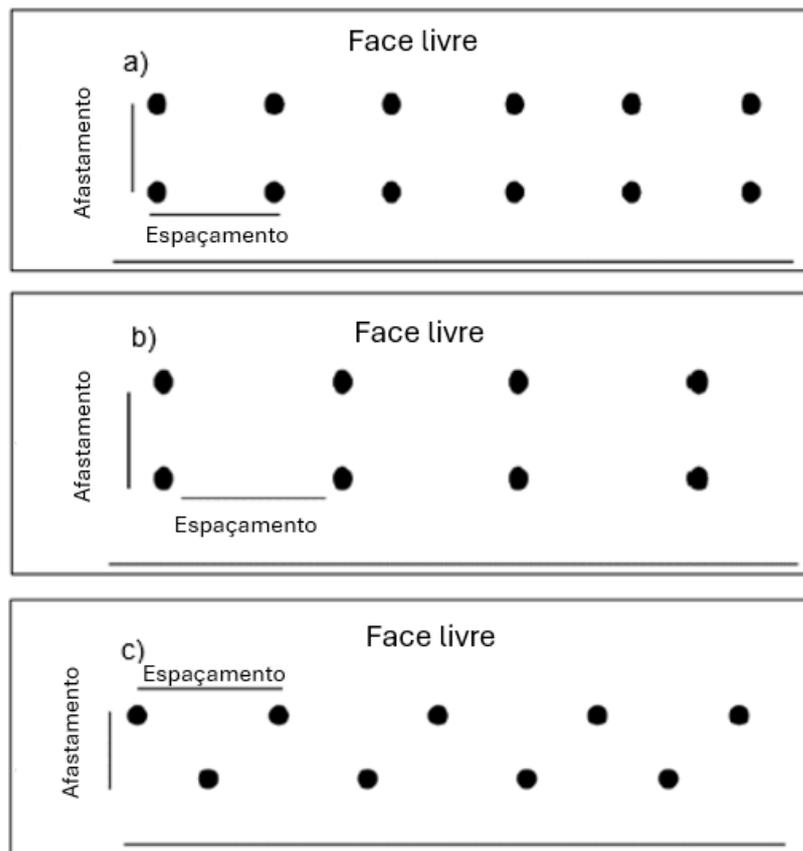
Legenda: H = altura do banco; D = diâmetro do furo; L = comprimento do furo; d = diâmetro da carga; A = afastamento nominal; E = espaçamento nominal; LV = comprimento do desmorte; AV = largura da bancada; Ae = afastamento efetivo; Ee = espaçamento efetivo; T = tampão; S = subperfuração; l = comprimento da carga;  $\theta$  = ângulo de saída; v/w = grau de equilíbrio; tr = tempo de retardo; 1 = repê; 2 = meia cana do furo; 3 = rocha saliente; 4 = sobreescavação; 5 = fenda de tração, 6 = trincamento do maciço; 7 = cratera; 8 = carga desacoplada.

### 3.5 Malha de perfuração

A malha de perfuração tem influência direta com a qualidade de fragmentação de um desmorte. A partir da geometria da malha os explosivos podem oferecer diferentes distribuição de energia durante o desmorte. De acordo com Silva 2019, existem diferentes modelos geométricos de malhas sendo mais comuns a malha quadrada, malha retangular e malha estagiada. Na malha quadrada, os parâmetros de afastamento e espaçamentos são iguais. Da mesma forma, a malha retangular apresenta geometria semelhante, mas com afastamento e espaçamento diferentes, proporcionando uma malha alongada em uma das direções.

A malha estagiada proporciona uma distribuição de furos alternados, o que proporciona uma melhor distribuição da influência de explosivos na rocha, o que a torna ideal para fragmentação de rochas mais duras. A figura 3 apresenta os tipos de malhas citadas.

Figura 3: Tipos de malhas de perfuração



Fonte: Silva, 2001

### 3.6 Razão de carga

A razão de carga, ou razão de carregamento, representa a quantidade de explosivo necessária para fragmentar uma tonelada de rochas ou um metro cúbico, geralmente calculada em g/m<sup>3</sup> ou g/t. Em boa parte dos casos, a razão de carga é um parâmetro importante de ajuste para uma boa fragmentação, pois ao aumentá-la, tem-se um maciço mais fragmentado (Vilas boas 2022).

A razão de carga pode ser obtida a partir da relação de quantidade de explosivo total aplicado dividido pela massa total a ser desmontada. Por sua vez, a massa a ser desmontada é calculada a partir da multiplicação do afastamento, espaçamento, altura da bancada e quantidade de furos.

Segundo Almeida e Luz. (2009), diversas fórmulas para cálculo de parâmetros do plano de fogo são encontradas na literatura, porém, na maioria dos casos tais parâmetros são calculados por fórmulas empíricas baseadas no cenário individual de cada caso. A orientação da razão de carga planejada pode ser obtida a partir de características do maciço como a resistência à compressão e tipo de rocha. Tabela 1

*Tabela 1: Parâmetros para escolha de razão de carga a partir da resistência da rocha*

Resistencia à compressão (MPa)	Tipo de rocha	Razão de carga (kg/m <sup>3</sup> )
>150	Granito, basalto	0,7
100 - 150	Dolomito, xistos	0,45
50 -100	Arenitos, calcários	0,3
<50	carvão	0,15 – 0,25

Fonte. Almeida e Luz, 2009

Uma boa estimativa inicial em um início de plano de fogo é adotar a razão de carga de 500 a 600 g/m<sup>3</sup>, garantindo assim uma boa fragmentação da rocha. No entanto, esse valor deve ser ajustado conforme a necessidade. O grau de fratura da rocha é também um fator a ser analisado pois na existência de alta fator, uma razão menor já é suficiente para a fragmentação eficiente.

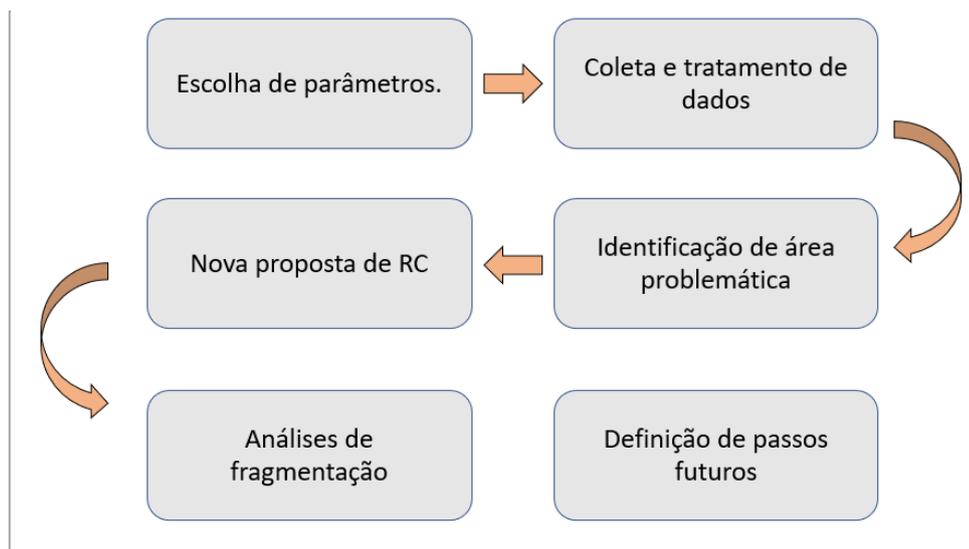
No dimensionamento do plano de fogo, alguns parâmetros podem ser modificados para ajustar mais facilmente a razão de carga:

- a) Malha de perfuração: O aumento do afastamento e espaçamento resulta em uma redução de razão de carga. Enquanto a diminuição desses valores aumenta, pois alterar esses parâmetros afeta diretamente o volume de rocha por furo;
- b) Diâmetro do furo: Em situações em que o equipamento aceita mais de um diâmetro brocas ou bits, aumentar o diâmetro do furo permite uma maior carga de explosivo, podendo assim elevar a razão de carga;
- c) Tipo de explosivo: explosivos com diferentes densidades podem ser utilizados a depender da necessidade de energia requerida para o desmonte, e dessa forma a massa a ser aplicada por furo também é alterada.

## 4 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foi utilizado a metodologia apresentada pelo fluxograma da Figura 4. Cada etapa e ferramentas necessárias que foram utilizadas serão abordadas a seguir.

Figura 4: Fluxograma do sequencial metodológico



Fonte: Autoria própria

### 4.1 Escolha de parâmetros

A realização do projeto ocorreu pela situação problemática de ocorrência de engaiolamento de blocos no britador primário na mina. Com base nesses acontecimentos, foi feita a investigação para identificar a origem desses blocos, para que dessa forma o ajuste da razão de carga fosse feito apenas para a região problemática.

Para conseguir realizar essa análise, o projeto utilizou-se de um banco de dados de viagens de caminhões onde blocos eram visualmente identificados pelo operador do equipamento de carga e destinados a uma pilha de descarte de maticos. No banco de dados tem-se informações completas como por exemplo atual banco de destino, equipamento de carga utilizado e principalmente coordenadas de destino e origem da viagem (Figura 5).

Figura 5: Banco de dados descarte de blocos

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Crew	Cycle	Day	EndSinkLocationName-TC	EndTime	EndTime-C	GradeVa	GradeVatu							
1	A	1.1E+09	14/09/2024 00:00 D-TWD_740-P2	14/09/2024 11:55	14/09/2024 11:55	1	1	61.966	0	0	17.281	2.795	0	
2	A	1.1E+09	16/09/2024 00:00 BRIT-P2	16/09/2024 00:36	16/09/2024 00:36	2	0	1896.61	0.523	0.441	14.149	2.806	0	
3	A	1.1E+09	16/09/2024 00:00 BRIT-P2	16/09/2024 02:22	16/09/2024 02:22	2	0	1896.61	0.418	0.342	14.149	2.806	0	
4	A	1.1E+09	16/09/2024 00:00 BRIT-P2	16/09/2024 02:22	16/09/2024 02:22	2	0	1896.61	0.418	0.342	14.149	2.806	0	
5	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:46	01/07/2024 22:46	2	0	2455.94	0.333	0.308	14.288	2.818	0	
6	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:05	01/07/2024 22:05	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
7	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 23:24	01/07/2024 23:24	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
8	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:52	01/07/2024 22:52	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
9	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:57	01/07/2024 22:57	2	0	1918.02	0.425	0.39	15.559	2.811	0	
10	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:44	01/07/2024 22:44	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
11	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:29	01/07/2024 22:29	2	0	2456.16	0.289	0.317	14.418	2.827	0	
12	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:35	01/07/2024 22:35	2	0	2456.16	0.289	0.317	14.418	2.827	0	
13	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:46	01/07/2024 22:46	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
14	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:22	01/07/2024 22:22	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
15	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 23:25	01/07/2024 23:25	2	0	1402.99	0.202	0.24	14.943	2.8	0	
16	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:57	01/07/2024 22:57	2	0	1661.45	0.263	0.326	14.296	2.806	0	
17	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 21:56	01/07/2024 21:56	2	0	1864.62	0.291	0.294	14.06	2.816	0	
18	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 22:39	01/07/2024 22:39	2	0	1864.62	0.291	0.294	14.06	2.816	0	
19	D	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 19:00	01/07/2024 19:00	2	0	1864.62	0.291	0.294	14.06	2.816	0	
20	B	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 00:39	01/07/2024 00:39	2	0	3280.31	0.25	0.262	13.427	2.812	0	
21	B	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 03:38	01/07/2024 03:38	2	0	2926.5	0.274	0.28	13.406	2.807	0	
22	C	1.1E+09	01/07/2024 00:00 E-Phase_14-P2	01/07/2024 07:59	01/07/2024 07:59	2	0	2438.58	0.269	0.337	14.441	2.812	0	
23	C	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-CE_04_830-P2	01/07/2024 14:58	01/07/2024 14:58	1	0	1774	0.38	0.38	12.42	2.83	0	
24	B	1.1E+09	01/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	01/07/2024 05:28	01/07/2024 05:28	1	0	1774	0.38	0.38	12.42	2.817	0	
25	D	1.1E+09	02/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	02/07/2024 23:53	02/07/2024 23:53	2	0	2097.78	0.527	0.44	13.991	2.781	0	
26	D	1.1E+09	02/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	02/07/2024 21:53	02/07/2024 21:53	2	0	2188.57	0.567	0.552	13.908	2.781	0	
27	D	1.1E+09	02/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	02/07/2024 21:35	02/07/2024 21:35	2	0	2188.57	0.567	0.552	13.908	2.781	0	
28	D	1.1E+09	02/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	02/07/2024 21:43	02/07/2024 21:43	3	0	2344.01	0.388	0.318	13.589	2.798	0	
29	D	1.1E+09	02/07/2024 00:00 D-P_OESTE_715-P2	02/07/2024 21:36	02/07/2024 21:36	2	0	2344.01	0.597	0.575	13.589	2.798	0	

Fonte: Autoria própria

## 4.2 Tratamento de dados

Nesta etapa de tratamento de dados, todas as viagens de caminhões provenientes dos 3 meses anteriores ao estudo foram compiladas e tratadas no Microsoft Excel. Para isso, as informações de data e coordenadas de origem de cada descarte foram isoladas para serem utilizadas no Vulcan Drill and Blast (Figura 6).

Figura 6: Dados de descarte de blocos compilados e tratados

	A	B	C	D	E	F	G
1	SourceBlockMaterialGroupLevel1	SourceBlockName	*X-Coordinate	*Z-Coordinate	*Y-Coordinate		
2	Esteril	PH_20_584_-806D4_12	7288.23	583.24	10145.92		
3	MinÁ@rio	PH_20_560_-309C1_12	7814.23	565.85	10425.51		
4	MinÁ@rio	PH_20_560_-309C1_12	7799.82	564.9	10405.72		
5	MinÁ@rio	PH_20_584_-508B1_12	7591.1	583.07	10290.95		
6	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7587.72	583.08	10296.3		
7	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7585.68	583.07	10304.51		
8	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7591.13	583.05	10290.98		
9	MinÁ@rio	PH_20_584_-212A2_12	7591.94	582.97	10289.41		
10	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7590.02	583.02	10292.93		
11	MinÁ@rio	PH_20_584_-508B4_12	7590.77	583.1	10291.74		
12	MinÁ@rio	PH_20_584_-508B4_12	7590.87	583.07	10291.58		
13	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7591.07	583.01	10291.12		
14	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7589.26	583.02	10294.18		
15	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A4_12	7579.66	583.06	10290.63		
16	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A2_12	7591.92	583.01	10289.34		
17	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A3_12	7585.6	583.11	10299.07		
18	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A3_12	7590.12	583.06	10292.79		
19	MinÁ@rio	PH_20_584_-508A3_12	7564.79	582.71	10309.14		
20	MinÁ@rio	PH_20_584_-510B1_12	7624.33	584.05	10455.85		
21	MinÁ@rio	PH_20_584_-509D3_12	7610.96	583.82	10437.29		
22	MinÁ@rio	PH_20_584_-509D1_12	7585.38	583.26	10393.76		
23	MinÁ@rio	E-QUARTZITO_644_412	7582.28	583.43	10346.98		
24	MinÁ@rio	E-QUARTZITO_644_512	7433.49	595.24	10376.53		

Fonte: Autoria própria

### 4.3 Identificação de área problemática

Com a utilização do software Vulcan, os dados de viagens já tratados foram importados para a sua interface, podendo agora ser identificado visualmente como pontos localizados na topografia já adquirida da mina.

Como o período de análise foi extenso, houve a ocorrência de viagens de dois bancos diferentes em uma mesma região. Sendo assim, os descartes de bancos distintos foram separados em diferentes cores para identificação da área problemática. Posteriormente, com todos os dados já importados e tratados, pode-se delimitar uma área em que as origens de descarte apresentaram comportamento mais condensado utilizando as informações dos dois bancos.

#### **4.4 Nova proposta de RC**

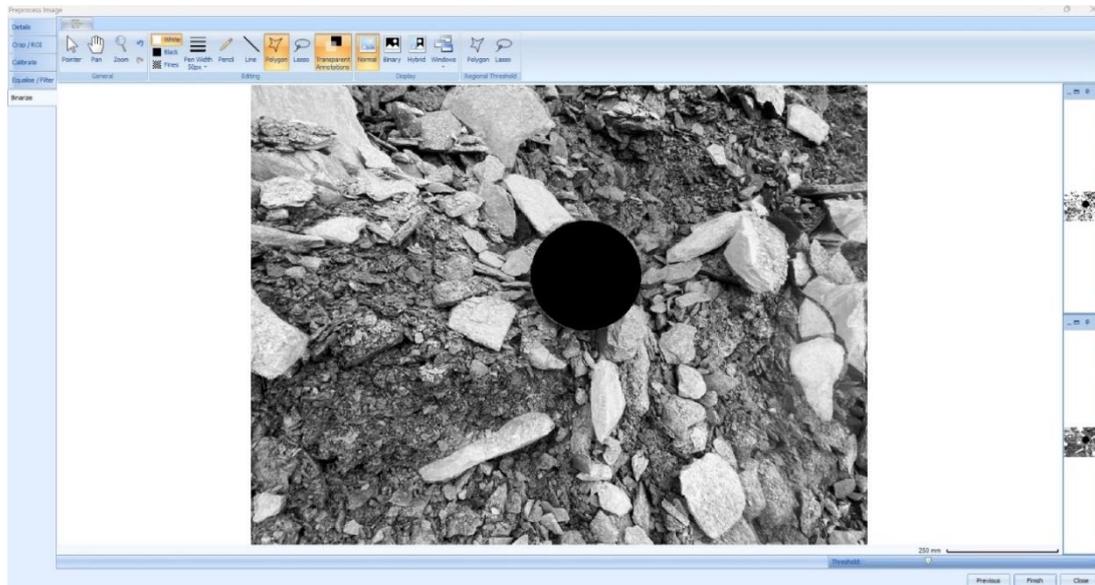
Para realizar a nova proposta de razão de carga, foi analisada a razão já utilizada nos desmontes que não foram eficazes na região de estudo para assim elevá-la para um valor teste e analisar a qualidade de fragmentação realizada posteriormente. No cenário inicial, o valor da razão de carga utilizada era de 500 g/t, sendo alterado para 600 g/t para realização do teste. Para isso, os valores de espaçamento e afastamento foram variados até atingir a razão desejada.

#### **4.5 Medição de fragmentação**

A análise de fragmentação foi realizada anteriormente ao ajuste com valores de razão de carga antigos e com os novos valores ajustados. Para isso utilizou-se o Software “Power Sieve 3” da Orica. O princípio da análise é feito com base em fotografias retiradas em campo com uma esfera de tamanho conhecido como referencial de escala. Ao especificar a dimensão do objeto o software possibilita desenhar o contorno dos grãos do minério presente na fotografia e calcula a média dos valores utilizando diversas fotografias de campo.

Ao finalizar é gerado um gráfico mostrando a frequência de ocorrência do material em suas diferentes granulometrias. Vale ressaltar que com um maior número de amostragem de fotografias, mais preciso é resultado da granulometria analisada. A figura 7 apresenta como a análise foi realizada no software.

*Figura 7: Seleção de partículas com esfera de referencial de escala realizado no Power Sieve 3*



Fonte: Autoria própria

## **5 ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo serão apresentadas algumas informações pertinentes sobre o cenário em que a mina se encontrou durante o estudo.

### **5.1 Nova proposta de razão de carga**

O presente estudo de caso aborda a aplicação da razão de carga no desmonte de rochas em uma mina de ouro a céu aberto localizada no estado de Minas Gerais. Trata-se de uma mina de alta movimentação de massa com uma frota de equipamentos de grande porte, consequência de um baixo teor. O desmonte é um fator crítico nesse contexto, pois deve atender às exigências de elevada demanda de massa disponível para transporte, mantendo um controle rigoroso sobre os impactos ambientais e sociais.

A mina está situada em uma região de filitos carbonosos como rocha encaixante e hospedeira, com ocorrências de quartzo em formato lenticular. Os filitos escuros são compostos comumente de minerais como quartzo, sericita, muscovita, clorita, carbonatos, pirita e arsenopirita. O maciço rochoso apresenta falhas em sua

extensão, fazendo com que possua características geotécnicas específicas que influenciam diretamente no plano de fogo dimensionado. Um dos desafios críticos enfrentados por essa operação é a proximidade de comunidades, o que exige um controle rigoroso sobre a vibração gerada pelos desmontes para reduzir impactos para moradores locais. Essa restrição de vibração tem impacto na redução de carga, sendo necessário reduzir as malhas de regiões próximas para garantir a fragmentação. Na área em que o estudo foi feito, a vibração não se torna um fator muito crítico pois já se localiza em uma região distante da comunidade.

## **5.2 Justificativa de estudos**

O intuito deste estudo baseia-se em propor uma área confinada para ajustar a razão de carga, de forma a otimizar a fragmentação da região, minimizando assim a ocorrência de matacões danosos para a continuidade da operação. Para determinar essa área, foram utilizadas as próprias ocorrências de matacões do passado.

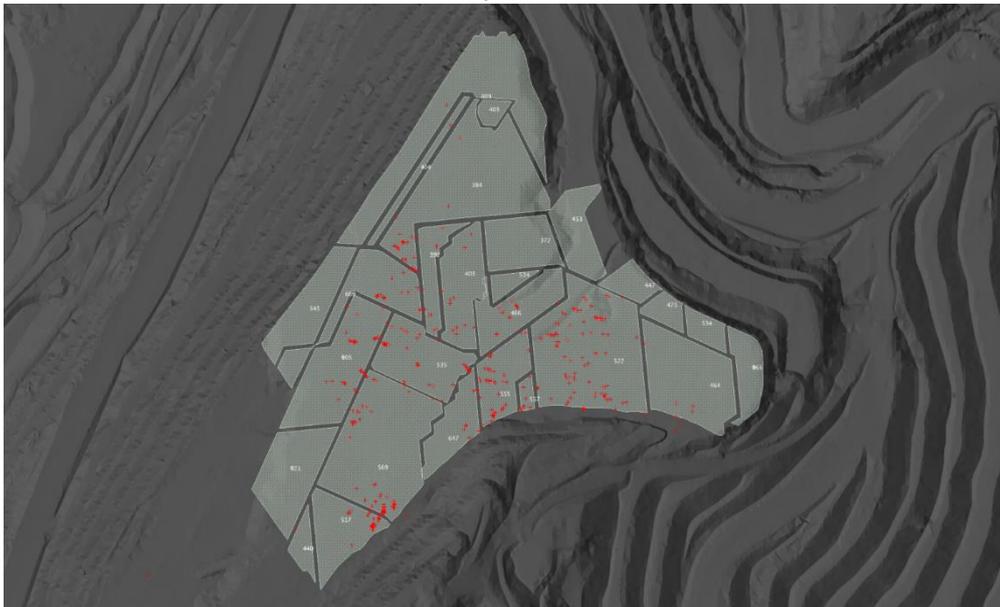
A justificativa para a escolha deste estudo de caso está na necessidade de evitar a fragmentação ineficiente, que ocasiona em aumento de custos para a empresa, uma vez que grandes blocos de rocha podem parar a produção da mina quando paralisam o britador primário.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Localização de descartes

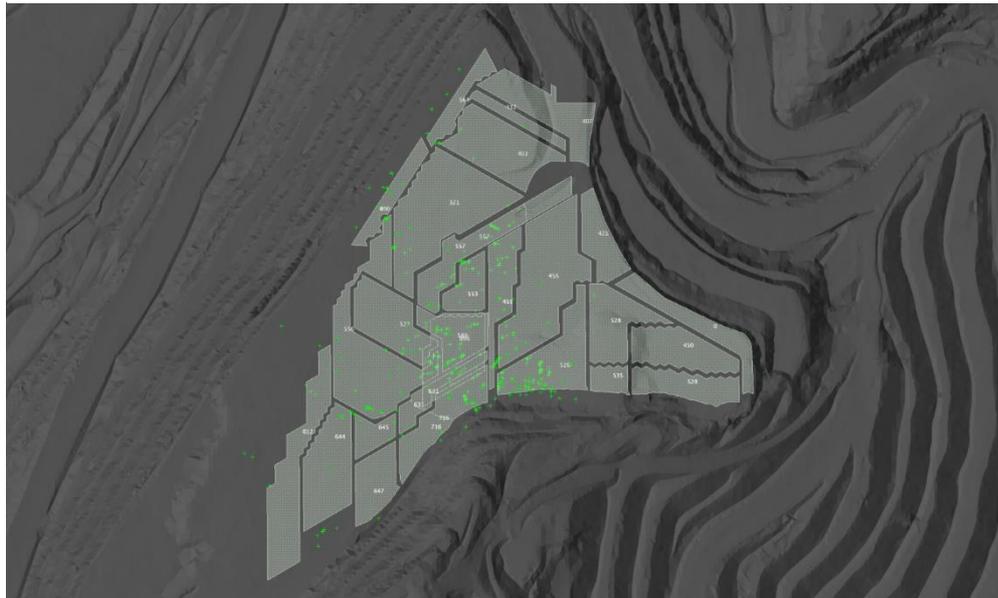
As figuras 8 e 9 apresentam a localização em planta das origens de cada viagem de descarte de carga devido a presença de grandes blocos. Observa-se que a disposição espacial dos descartes (representados pelos pontos plotados) pertencem a somente uma porção da bancada, o que indica uma má fragmentação localizada. Vale ressaltar que os desmontes efetuados em ambos os bancos apresentavam os mesmos parâmetros de plano de fogo. Esse comportamento indica que os parâmetros utilizados estão adequados, porém apenas em uma região a fragmentação se mostra insatisfatória.

*Figura 8: Localização de origem de carregamentos com blocos no banco superior*



Fonte: Autoria própria

*Figura 9: Localização de origem de carregamentos com blocos no banco inferior*

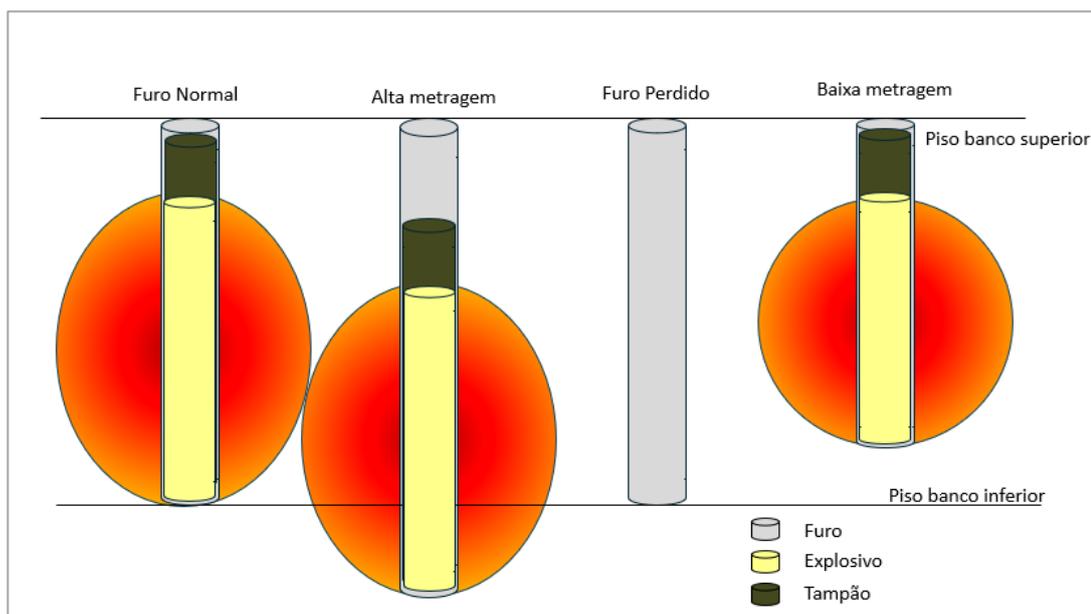


Fonte: Autoria própria

A causa desta má fragmentação localizada pode ser reflexo de diversos motivos. A interpretação geológica possui grande influência em um desmonte, sendo um possível agente para a situação causada. As propriedades da rocha podem variar significativamente ao longo de uma bancada da mina, como por exemplo diversidade de litologias, resistência distintas, conjuntos de descontinuidades entre outros.

Além do quesito geológico, a qualidade das atividades operacionais é capaz de interferir no resultado final do desmonte. A sequência e qualidade de perfuração são fatores cruciais para a entrega de um bom desmonte, uma vez que furos perdidos ou não perfurados, furos de baixa e alta metragem em meio a uma malha pode ser a principal causa para geração de blocos, devido ao modo como a área de influência do explosivo é modificada conforme mostrado na figura 10. Além de erros de perfuração, erros operacionais de carregamento também sempre estão presentes em um desmonte de rochas. Parâmetros de carga por furo, tampão, altura de bolsa de ar, entre outros, devem ser respeitados e seguidos por operadores de campo para mitigar quaisquer resultados indesejados.

Figura 10: Representação de como a área de influência de explosivos se comporta em diferentes tipos de furos



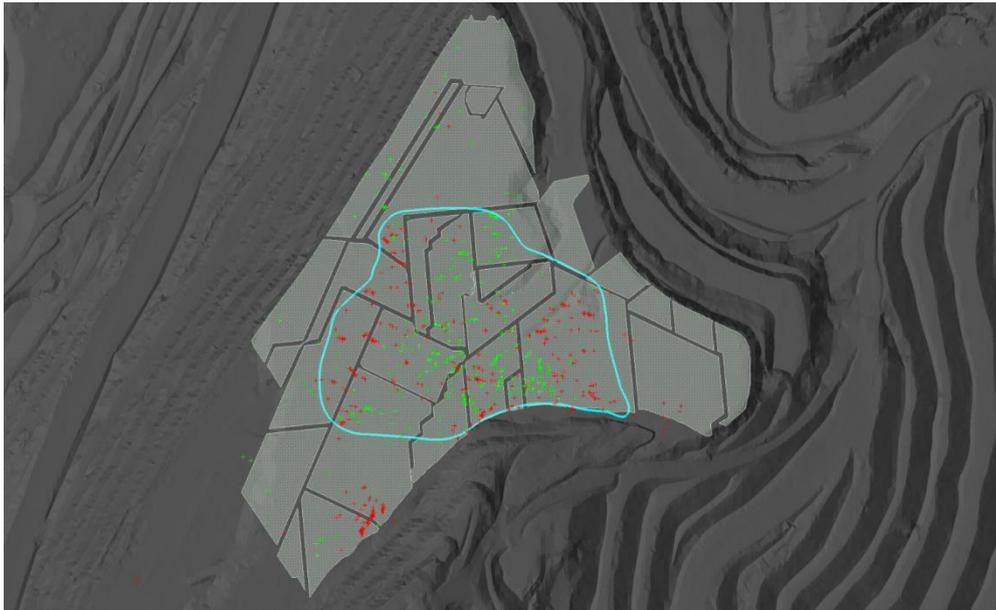
Fonte: Autoria própria

## 6.2 Definição de área de ajuste

Foi selecionada uma área para teste em que a razão de carga planejada seria de 600 g/t, ou seja, um aumento de 100 g/t em relação ao cenário base analisado. Como a mina possui restrições de vibração devido a comunidade, o aumento da razão de carga não pode ser realizado a partir do aumento da carga por furo e sim pela mudança da malha de perfuração, uma vez que reduzindo o espaçamento e afastamento, a massa por furo diminui, o que ocasiona o aumento da razão de carga (Figura 11).

Com esse resultado foi possível observar que apesar de já condensados, muitos pontos apresentam comportamento mais recorrente nos contatos entre planos de perfuração, o que pode indicar um problema com a geometria dos polígonos planejados.

Figura 11: Delimitação de área teste



Fonte: Autoria própria

### 6.3 Análise de fragmentação

Para validar o teste, as análises de fragmentação foram feitas antes e após o ajuste da razão de carga. A análise foi feita de modo a selecionar um plano de perfuração realizado antes e outro após o ajuste, analisando o P80 gerado pelo “Power Sieve 3”. A Tabela 2 apresenta os valores de razão de carga e malha e a tabela 3 os resultados da análise de fragmentação do ajuste.

Tabela 2: Parâmetros de desmonte pré-teste

<b>DADOS DO DESMONTE</b>			
FASE	20	TIPO DE MATERIAL	Ore
BANCO	548	RAZÃO DE CARGA	504 g/t
PLANILHA	884	MALHA	4,9 x 5,6
PROFUNDIDADE MÉDIA PLANEJADA	14,40 m	BWI	14.25

Fonte: Autoria própria

A razão de carga realizada neste plano de fogo analisado foi de 504 g/t e a malha 4,9 por 5,6, sendo localizada em meio a região de ocorrência de blocos. Além desses parâmetros, a dureza da rocha medida em “BWI” se mostrou com valores de 14,25.

*Tabela 3: Resultados de análise de fragmentação anterior ao teste*

<b>% Passante</b>	<b>Granulometria (mm)</b>
10	7,107
20	17,311
30	26,736
40	39,717
50	54,802
60	69,923
70	91,838
<b>80</b>	<b>122,506</b>
90	169,602
100	n/a

Fonte: Autoria própria

As tabelas 4 e 5 apresentam os parâmetros do teste e os resultados da medição de fragmentação respectivamente.

*Tabela 4: Parâmetros de desmonte pós-teste*

<b>DADOS DO DESMONTE</b>			
FASE	20	TIPO DE MATERIAL	Ore
BANCO	536	RAZÃO DE CARGA	635
PLANILHA	990	MALHA	4,5 x 5,2
PROFUNDIDADE MÉDIA PLANEJADA	14,63 m	WI	14.63

Fonte: Autoria própria

No cenário após o teste, a análise foi efetuada da mesma forma, porém agora com os parâmetros de malha ajustados para atingir a razão de carga proposta de 600 g/t. A razão realizada foi de 635 g/t, um valor um pouco acima do planejado,

provavelmente por conta de furos de metragem superior a planejada ocasionando maior carga aplicada em cada furo, elevando, assim, a razão de carga. Em questão de dureza da rocha, os valores se mantêm próximos, não sendo significativos para a afirmação de resultados.

*Tabela 5: Resultados de análise de fragmentação após o teste*

<b>% Passante</b>	<b>Granulometria (mm)</b>
10	7,095
20	15,349
30	24,863
40	35,973
50	49,237
60	65,605
70	86,874
<b>80</b>	<b>117,091</b>
90	169,230
100	n/a

Fonte: Autoria própria

Comparando os valores de P80, é possível observar que o aumento da razão de carga teve um impacto positivo na fragmentação, diminuindo o valor de 122,5 mm para 117,1 mm. Em comparação, essa diferença de 5,4 mm pode não ser suficiente para solucionar a ocorrência de blocos no desmonte.

Até o momento do estudo, a região de ajuste da razão de carga se encontra em processo de lavra e a ocorrência de blocos ainda persiste. Com isso é possível afirmar que a razão de carga não se apresenta como único fator determinante para a fragmentação eficiente do desmonte de rochas. Outros fatores relevantes devem ser considerados como causadores por exemplo a geometria de planos de fogos, onde planos de fogo extensos e uniformes proporcionar melhor temporização e conseqüentemente uma fragmentação mais eficiente.

Outro fator que deve ser considerado é o custo necessário para realizar o ajuste de razão de carga. Seu aumento gera malhas menores, com menor massa disponível para lavra e maior quantidade de furos a serem realizados, o que conseqüentemente gera mais horas de perfuração. Todas essas modificações devem ser analisadas como justificativa de ganho no processo de cominuição da usina e menor massa a ser descartada por ocorrência de blocos.

## 7 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como propósito realizar análise dos resultados de fragmentação do desmonte de rocha a partir de uma região de alta ocorrência de blocos. Com os resultados obtidos pode-se afirmar que com um aumento de razão de carga para 600 g/t, o material teve um comportamento esperado e positivo, melhorando fragmentação, partindo de um valor de P80 de 122,5 para 117,1.

Apesar do teste apresentar melhoria, a redução dos valores não se diz significativa para uma possível aplicação. Apesar de ganhar com fragmentação, o ajuste de razão de carga por redução de malha implica em maiores gastos que precisam ser justificados economicamente nos processos seguintes. A execução de furos em uma malha mais condensada reflete em uma operação com mais horas de perfuração, maior quantidade de furos, mais tempos para carregamento de explosivos e etc. Por esses motivos, é necessário estudar mais a fundo o fator econômico para implementar esse ajuste de razão

Além da parte econômica da atividade, um ponto que é necessário levar em consideração é a precisão dessa metodologia de análise de fragmentação. Por ser um método manual, ele abre brechas para não ser tão representativo como o uso de câmeras e inteligência artificial para a leitura da granulometria. Dito isso, a partir dos resultados obtidos seria necessária uma maior investigação para confirmação da eficiência do teste realizado.

A respeito da geração de blocos, este é um fator que pode ocorrer não somente por valores de razão de carga. Como abordado anteriormente, fatores como perfuração e geometria de planos de fogos estão relacionados com esse fenômeno. Além disso, outro impactante é a realização do desmonte em fogos separados, pois dessa forma, a existência de um overbreak se torna mais provável, o que pode influenciar em desmonte adjacentes no que se diz respeito a trincas e escape de emulsão dos furos, impactando negativamente a fragmentação do desmonte em seguida.

Com isso o trabalho conclui que o ajuste da razão de carga se mostrou eficiente para a melhoria de fragmentação no geral, mas não conclusiva para a ocorrência de blocos, o que traz abertura para investigações futuras para determinação de outras causas além do estudo do fator econômico para se estipular a viabilidade econômica para execução de tais ajustes. Para estudos futuros recomenda-se a realização de testes e análises de outros parâmetros causadores da geração de blocos.

## 8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M. (Ed.); LUZ, A. B. (Ed.). **Manual de agregados para construção civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 412p

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 22: Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração**. Brasília, DF: MTE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-22-atualizada-2024-iii.pdf> . Acesso em: 2025

CARMO, E. L. **A Mineração E A Produção Do Espaço Urbano Em Canaã Dos Carajás-Pará**. Revista Tocantinense de Geografia, p. 139 a 153, Outubro 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufnt.edu.br/index.php/geografia/article/view/16834/21445>

DIAS, E C. et al. **Crescimento Populacional E Recursos Naturais: Uma Relação Ainda Insustentável**. Congresso Amazônico de Meio Ambiente & Energias Renováveis, setembro 2016. Disponível em : <https://static.even3.com/anais/31401.pdf>

DORNELES, F. T. **Controle E Previsão De Vibrações E Ruídos Gerados Por Desmonte De Rochas Com Explosivos**. CAÇAPAVA DO SUL – RS: Universidade Federal do Pampa, 2013. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/tecnologiaemmineracao/files/2019/10/controle-e-previsao-de-vibracoes-e-ruídos-gerados-por-desmonte-de-rochas-com-explosivos.pdf>

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Relatório Anual de Atividades 2024. Brasília: IBRAM, 2025. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/03/IBRAM\\_Relatorio-Anual-2024\\_completo\\_web.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/03/IBRAM_Relatorio-Anual-2024_completo_web.pdf). Acesso em: 31/03/2025

MORAIS, J.L, GRIPP, M.F.A. **Fundamentos para simulação dos desmontes de rocha por explosivos**. REM - Revista Escola de Minas, p. 241–248, 2004. Disponível:<https://www.scielo.br/j/rem/a/QsSd4jsLgMVMbCkhtYLyGnx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 2025

PONTES, J. C.; DE LIMA, V. L. A.; DA SILVA, V. P. **Impactos Ambientais Do Desmonte De Rocha Com Uso De Explosivos Em Pedreira De Granito De Caicó-Rn**. Geociências, v. 35, n. 2, p. 267–276, 2016.

SCOTT, A. (1996). **Rock Fragmentation by Blasting**. CRC Press.

SILVA, Valdir Costa e. **Desmonte de Rochas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 334 p. ISBN 9788579753367.

VILAS BOAS, Washington. **Metodologia Para Avaliação Da Aderência Do Projeto De Perfuração E Desmonte De Rochas**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2022.