



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



**JULIANO BERNARDO LELLES DE OLIVEIRA GUIMARÃES**

**INTRODUÇÃO DO *BIT* DE 45 MM AO PLANO DE FOGO DE  
DESENVOLVIMENTO DE GALERIAS**

**Caso: Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral**

**OURO PRETO**

**2023**

JULIANO BERNARDO LELLES DE OLIVEIRA GUIMARÃES

**INTRODUÇÃO DO *BIT* DE 45 MM AO PLANO DE FOGO DE  
DESENVOLVIMENTO DE GALERIAS**

Caso: Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral

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 do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Co-orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda

OURO PRETO

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G963i Guimarães, Juliano Bernardo Lelles de Oliveira.

Introdução do bit de 45 mm ao plano de fogo de desenvolvimento de galerias [manuscrito]: caso - Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral. / Juliano Bernardo Lelles de Oliveira Guimarães. - 2023.  
54 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz.

Coorientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e recursos minerais. 2. Perfuração - Minas e mineração. 3. Mineração subterrânea. I. Ortiz, Carlos Enrique Arroyo. II. Miranda, José Fernando. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Juliano Bernardo Lelles de Oliveira Guimarães**

### **Introdução do Bit de 45mm ao Plano de Fogo de Desenvolvimento de Galerias**

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 30 de agosto de 2023

#### Membros da banca

Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto  
Eng. Victor Silveira Eulálio Guimarães - EQUINOX GOLD

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 22/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Enrique Arroyo Ortiz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/09/2023, às 20:13, 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 **0594059** e o código CRC **FAAB705F**.

## AGRADECIMENTOS

Ao alcançar o ponto final desta jornada, é com profunda gratidão em meu coração que expresso meu sincero agradecimento a todos aqueles que tornaram esta trajetória possível e inesquecível.

Em primeiro lugar, quero expressar minha eterna gratidão a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de chegar até aqui. Cada dia, cada desafio e cada momento de alegria são um lembrete constante de Sua benevolência e graça que me guiaram ao longo deste caminho.

Minha querida mãe, Maria Helena, merece um agradecimento especial. Seu apoio incansável, amor incondicional e zelo constante foram a luz que me guiou nos momentos mais difíceis. Sua presença em cada etapa desta caminhada foi fundamental para minha perseverança e sucesso.

À Escola de Minas (UFOP), desejo expressar minha profunda gratidão pelo ensino gratuito e de qualidade que recebi. Cada aula, cada professor e cada oportunidade de aprendizado moldaram não apenas meu conhecimento, mas também meu caráter.

Ao Departamento de Engenharia de Minas (Demin), em especial aos professores Hernani, Tatiana e Arroyo, quero agradecer pelo suporte incondicional que sempre me ofereceram. Suas orientações e conselhos foram essenciais para minha formação e crescimento como profissional. Minha gratidão se estende à Equipe de Operação de Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral (FBDM), em especial a Marcio Alexandre e Kledson. Sua liderança e conhecimento compartilhado foram uma bênção para todos nós que ingressamos nesse mundo profissional. Obrigado por sua dedicação e generosidade.

Aos colegas da equipe de estagiários FBDM, em especial ao meu companheiro de jornada, Victor Guimarães, quero expressar meu apreço pelo companheirismo e apoio mútuo. Nossas experiências compartilhadas fortaleceram nossa amizade e enriqueceram nossos dias.

Por fim, não posso deixar de agradecer à Gloriosa República FG pelos melhores anos nesta cidade que muitas vezes parecia de outro planeta. As memórias que criamos, as amizades que fizemos e as lições que aprendemos juntos serão tesouros que levaremos para o resto de nossas vidas.

Que este momento de gratidão não seja apenas palavras, mas sim um compromisso contínuo de valorizar aqueles que contribuíram para nossa jornada. Com um coração cheio de reconhecimento, olho para trás com orgulho e para frente com esperança, sabendo que o futuro reserva ainda mais conquistas e bênçãos.

## RESUMO

A mineração é uma atividade que remonta aos tempos pré-históricos, quando os seres humanos utilizavam pedras para criar ferramentas e armas. O presente trabalho se concentrou na avaliação do impacto da variação do diâmetro do bit nas operações de desenvolvimento da mina subterrânea de Fazenda Brasileiro. Para atingir esse objetivo, o estudo abordou aspectos teóricos e práticos da mineração, incluindo o Método de Lavra sublevel stopping e o ciclo de desenvolvimento operacional em uma mina, que engloba etapas como desenvolvimento subterrâneo, perfuração, seleção do bit, carregamento de explosivos, planejamento do fogo, uso do pilão, limpeza e transporte, além do abatimento de choco. Além da revisão bibliográfica, o trabalho envolveu a observação direta das operações de perfuração de desenvolvimento utilizando brocas de 51 mm e 45 mm, com a coleta de dados de tempo de perfuração. Uma análise estatística desses dados foi realizada para validar o número mínimo de amostras e possibilitar a comparação entre as duas técnicas de perfuração, bem como a quantificação dos impactos decorrentes da variação do diâmetro do bit. Ao finalizar todas as etapas do processo, os resultados indicaram que a perfuração com bit de 45 mm oferece vantagens significativas em termos de ganhos produtivos e financeiros, destacando-se pela redução de custos. Além disso, o estudo ressaltou a importância de um foco mais rigoroso nas operações, visando uma maior aderência ao planejamento inicial, com o objetivo de minimizar o overbreak, melhorar a granulometria, aumentar o avanço e otimizar o rendimento dos explosivos. Essas conclusões fornecem valiosas informações para o aprimoramento das práticas de perfuração na mineração subterrânea, com potencial para melhorar significativamente a eficiência e a rentabilidade das operações.

**Palavras-chave:** Mineração. Mina subterrânea. *Overbreak*. *Bit*.

## ABSTRACT

Mining is an activity that dates back to prehistoric times when humans used stones to create tools and weapons. This study focused on evaluating the impact of varying bit diameter on the development operations of the underground mine at Fazenda Brasileiro. To achieve this objective, the research addressed both theoretical and practical aspects of mining, including the sublevel stopping mining method and the operational development cycle in a mine, which encompasses stages such as underground development, drilling, bit selection, explosives loading, fire planning, mucking, cleaning, and transportation, as well as rock fragmentation. In addition to the literature review, the study involved direct observation of development drilling operations using 51 mm and 45 mm drill bits, with the collection of drilling time data. A statistical analysis of this data was conducted to validate the minimum sample size and enable the comparison between the two drilling techniques, as well as the quantification of the impacts resulting from the variation in bit diameter. Upon completing all stages of the process, the results indicated that drilling with a 45 mm bit offers significant advantages in terms of productivity and financial gains, particularly in cost reduction. Furthermore, the study underscored the importance of a more rigorous focus on operations, aiming for greater adherence to the initial planning to minimize overbreak, improve fragmentation, increase advancement, and optimize explosive efficiency. These conclusions provide valuable insights for enhancing underground mining drilling practices, with the potential to significantly improve operational efficiency and profitability.

**Keywords:** Mining. Underground mine. Overbreak. Bit.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Método de Lavra sublevel stopping .....	14
Figura 2 - Ciclo Desenvolvimento.....	15
Figura 3 - Jumbo DD421 .....	16
Figura 4 - Tipo de face de bit.....	17
Figura 5 - Plano de Fogo .....	19
Figura 6 – Sequência de Perfuração PILÃO .....	20
Figura 7 - PDCA .....	23
Figura 8 – Ilustração do Sequenciamento .....	25
Figura 9 – Modelo de tabela de controle de frentes.....	27
Figura 10 – Localização regional e principais acessos .....	29
Figura 11 – Áreas mineralizadas .....	32
Figura 12 - Overbreak.....	33
Figura 13 - CQ2AC2 .....	33
Figura 14 - Pilão.....	34
Figura 15 - Causas.....	35
Figura 16 - Consequências .....	36
Figura 17 - Plano de fogo .....	37
Figura 18 - Plano de Ação .....	37
Figura 19 - Marcação.....	40
Figura 20 - Primeiro passo.....	40
Figura 21 - Segundo passo.....	41
Figura 22 - Fragmentação.....	48
Figura 23 - Fragmentação.....	48



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de Coleta .....	25
Tabela 2 - Orientações .....	38
Tabela 3 - Tempo de ciclo .....	42
Tabela 4 - Tratamento Estatístico .....	43
Tabela 5 - Dados de perfuração .....	43
Tabela 6 - Tempos de perfuração .....	44
Tabela 7 - Tratamento estatístico.....	45
Tabela 8 - Dados de perfuração 45mm.....	46
Tabela 9 - Tempo de ciclo .....	47
Tabela 10 - Velocidade de avanço.....	47
Tabela 11 - Financeiro .....	49
Tabela 12 - Consumo Emulsão.....	50
Tabela 13 - Consumo Emulsão 1o. Trimestre 2022 .....	50
Tabela 14 - Análise de quantidade de emulsão.....	51

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo Geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1 Método de Lavra.....	13
3.2 Desenvolvimento Subterrâneo .....	15
3.3 Perfuração .....	16
3.3.1 <i>Bit</i> .....	17
3.4 Carregamento de explosivos .....	18
3.5 Plano de Fogo .....	19
3.6 Pilão .....	20
3.7 Sequenciamento .....	21
3.8 Limpeza e transporte.....	21
3.9 Abatimento de choco .....	22
3.10 PDCA .....	22
4. METODOLOGIA.....	24
5. ESTUDO DE CASO .....	28
5.1 Localização .....	28
5.2 Geologia.....	29
5.3 Ouro .....	31
5.4 Identificação do Problema .....	32
5.5 Causas.....	34
5.6 Consequências .....	35

5.7 Plano de Ação .....	36
5.8 Orientações.....	38
5.9 Ações Aplicadas.....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
6.1 Tempo de Ciclo.....	42
6.2 Fragmentação.....	48
6.3 Financeiro .....	49
7. CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade de mineração, que envolve a extração de minerais, tem raízes profundas na história da humanidade, remontando aos tempos pré-históricos. Nesse período, as rochas eram os principais recursos naturais utilizados para a fabricação de ferramentas e armas, representando uma das primeiras manifestações da relação entre o ser humano e seu ambiente. Essa prática ancestral de mineração ilustra a necessidade intrínseca da humanidade de explorar e utilizar os recursos naturais para atender às suas necessidades e desenvolver sua civilização ao longo dos séculos.

Desde então, o investimento em mineração tem sido visto como uma atividade altamente lucrativa, com retorno garantido. Desta forma, é possível desenvolver o mundo como se percebe hoje, com a presença de prédios, eletrônicos, luzes, utensílios domésticos, carros e até papel, que tornam-se inseparáveis da mineração (SIMINERAL, 2022).

Segundo Mello (2023), a mineração é definida como uma atividade de extração e beneficiamento material, retirado do solo e/ou subsolo, com benefícios econômicos de suma importância para o desenvolvimento social e tecnológico da humanidade. Além da relevância na área da economia, é tida como fonte de renda e geração de emprego para seus países produtores. No Brasil, a atividade tornou-se grande protagonista econômico-financeira, em função do potencial do geológico possuir características de riqueza e abundância de qualidades, em se tratando de recursos minerais.

O setor mineral nacional representa 4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2021), sendo que a Bahia é considerado o quarto estado em produção mineral no Brasil, destacando-se pela variedade de minérios disponíveis (ANM, 2018). Ao todo, são 535 produtoras situadas em 221 diferentes municípios, que produzem mais de dois milhões de toneladas, de 52 diferentes minérios, em média por ano. A mineração baiana gera mais de 14.800 empregos diretos e indiretos, a fim de garantir a renda de inúmeras famílias baianas, especialmente na região do semiárido (IBGE, 2017).

A mineração subterrânea é uma atividade altamente especializada que demanda atenção contínua, especialmente à medida que a busca por recursos cada vez mais profundos se torna uma necessidade econômica. Globalmente, a tendência é aumentar a produção mineral por meio de minas subterrâneas, devido à escassez de grandes depósitos mineralizados próximos à superfície. Isso tem impulsionado a exploração de novas tecnologias para otimizar a

recuperação do minério, reduzir a diluição e aumentar a produtividade dos projetos de mineração. Essa evolução tecnológica é fundamental para garantir a viabilidade econômica da mineração subterrânea e a sustentabilidade da indústria mineral em um contexto de recursos mais profundos e desafios crescentes.

Considera-se, que o desenvolvimento de galeria constitui a terceira fase da mineração:

Prospecção => Exploração => Desenvolvimento => Lavra

À partir disso, a finalidade desta etapa, é a preparação para lavra, produzindo vias de acesso ao minério. Tem como serviços necessários para sua eficiência e segurança o transporte, a ventilação, o bombeamento de água, divisão de corpos em unidades que serão desmontadas, depósitos, silos, etc (CURI, 2017).

Frente à esta breve contextualização, tem-se que, é determinado para o presente trabalho, a avaliação da capacidade produtiva, avaliando o impacto na produtividade do desenvolvimento com a utilização de *bits* com diâmetro de 45 mm, assim como seu reflexo também no consumo específico de explosivos. O resultado esperado na redução do diâmetro da broca é a diminuição da razão de carga, conseqüentemente reduzindo overbreak não afetando a estabilidade da escavação e tratativas geomecânicas das galerias.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar o impacto técnico-econômico da mudança do diâmetro do *bit* nas operações de desenvolvimento da mina subterrânea de Fazenda Brasileiro.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Apresentar as características do Método Lava *sublevel stopping*;
- Explicar as etapas do Ciclo de Desenvolvimento do Método Lava *sublevel stopping*: perfuração, carregamento de explosivos, plano de fogo, sequenciamento, limpeza, transporte e abatimento de choco.
- Analisar a introdução do *bit* de 45 mm ao Plano de Fogo de desenvolvimento de galerias.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A mineração pode ser vista como uma atividade industrial, que se relaciona diretamente à extração de recursos minerais, desde que possuam, comprovadamente, valores econômicos e ainda, fins estratégicos da indústria ou do governo nacional (MELLO, 2023). Entre os vários processos que envolvem a mineração, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), estão os de operação, com o Método de Lavra.

#### 3.1 Método de Lavra

Mello (2023) explica que a lavra pode estar tanto a céu aberto, como de modo subterrânea, e o método para sua extração será definido através da análise de suas características econômicas, como custos e investimentos, ou geológicas, como massa e potência. Andrade (2019) aponta que este método pode ser ascendente e verticalizado, aplicado em corpos com alta inclinação (entre 50 e 90°); além disso, a rocha precisa ter alto grau de competência.

De acordo com Cavalcanti (2019), antes de se definir o método como sendo o de lavra subterrânea, necessita-se analisar a segurança, produtividade, custo e recuperação. A partir disso, aconselha-se efetuar um estudo detalhado das principais características do minério, do maciço rochoso, das encaixantes, além da estabilidade.

Quanto aos principais princípios que norteiam os métodos de lavra subterrânea relacionam-se à geotécnica, sustentação e controle de deformações nas aberturas, sendo os princípios: abandono de pilares, enchimento e abatimento (CAVALCANTI, 2019):

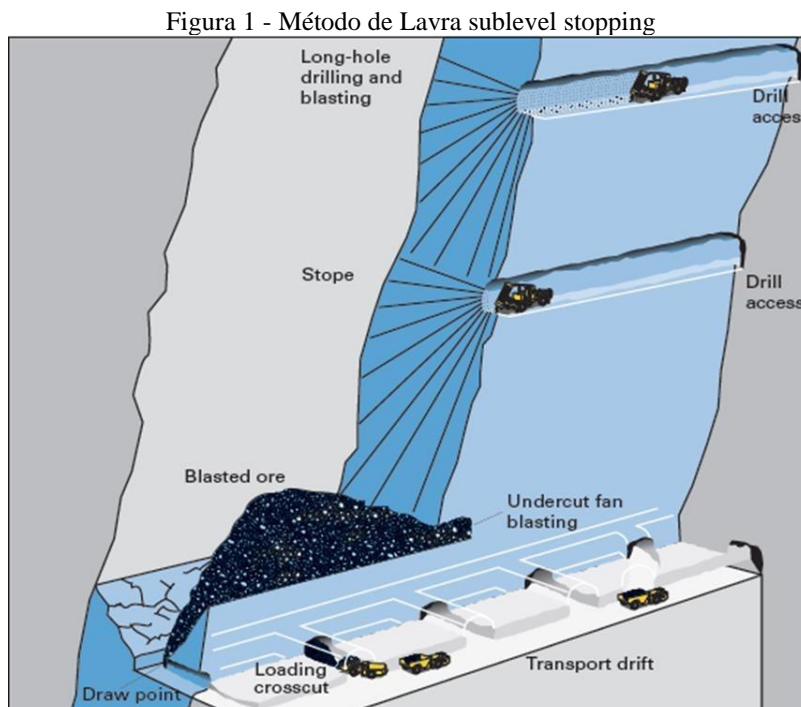
- Princípio de abandono de pilares: pressupõe o desmonte parcial do minério e a consequente perda de parte da reserva para prover a sustentação do alargamento. Os pilares compõem, assim, uma parcela não recuperável dos recursos minerais;
- Princípio do enchimento: se baseia no desmonte de todo o minério, mas, à medida que ele vai sendo extraído, o vazio criado no alargamento vai sendo preenchido com material estéril, o que assegura a sustentação permanente das rochas encaixantes.
- O princípio de abatimento: consiste em permitir (ou mesmo induzir) a deformação e a ruptura do maciço rochoso de forma controlada (Adaptado de Cavalcanti, 2019, p. 30).

Os métodos de lavra subterrânea, podem ainda ser divididos considerando o tipo de suporte das aberturas: autossuportadas; com suporte artificial; sem suporte (CAVALCANTI, 2019).

Nas aberturas autossuportadas ou naturalmente suportadas, as características do minério e das rochas encaixantes permitem a abertura de grandes espaços subterrâneos sem suporte. É usado o princípio de abandono de pilares do próprio material a ser desmontado. Nos alargamentos autossuportantes, não há aplicação regular de nenhuma estrutura artificial de suporte. As cargas devidas sobretudo ao peso próprio das rochas sobrejacentes são absorvidas, predominantemente, por suportes naturais, do próprio maciço. Dentro dessa classe encontram-se os métodos de lavra denominados câmaras e pilares, lavra por recalque e lavra por subníveis (CAVALCANTI, 2019, p. 31).

A lavra na Mina Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral LTDA (FBDM) ocorre de duas formas, sendo a mais utilizada, a lavra subterrânea, através dos Métodos de Lavra por *sublevel stopping*. É um método de mineração subterrânea usado para extrair minerais de depósitos horizontais em diferentes níveis subterrâneos. Envolve a criação de aberturas horizontais na rocha por meio de furos de perfuração, preenchidos com explosivos. Após detonação, o minério quebrado cai para níveis inferiores e é transportado para a superfície. Esse método é eficaz para depósitos específicos com espessura adequada e rocha estável, sendo comumente usado em mineração subterrânea para explorar profundamente certos tipos de minerais.

A figura 1 representa, ilustrativamente o Método de Lavra *sublevel stopping*:



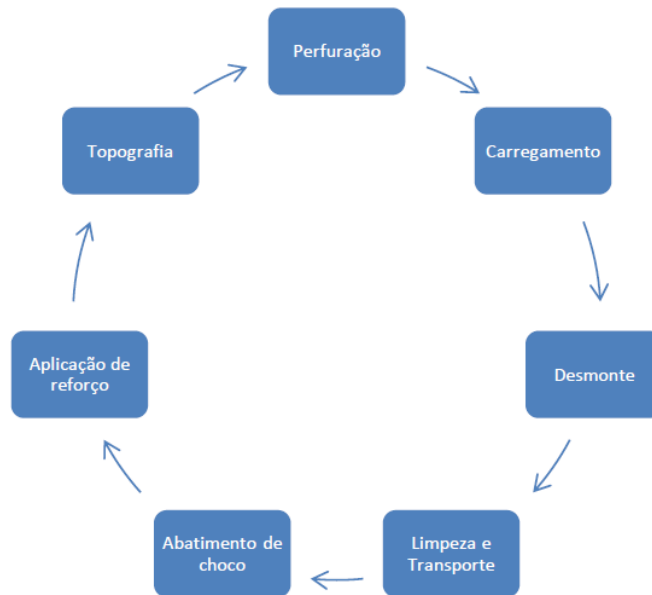
Fonte: Santos, 2021, p. 22.

Como principais características, considera-se o baixo custo unitário, baixa diluição, alta produtividade, alta recuperação (SANTOS, 2021).



Neste método, é preciso seguir todas as diversas etapas, e finalizar a anterior, para passar adiante com a posterior (SANTOS, 2021). E entre as atividades do ciclo operacional estão:

Figura 2 - Ciclo Desenvolvimento



Fonte: Mello, 2023, p. 20

A figura 2, representa todo o ciclo operacional em atividades de uma mina. O que será esmiuçado posteriormente, no presente trabalho. Além disso, analisar-se-á os dados colhidos.

### 3.2 Desenvolvimento Subterrâneo

Segundo explica Mello (2023): “Um ciclo operacional é uma sequência ordenada de atividades interdependentes e subordinadas que se repetem constantemente em uma frente de lavra” (p. 20). Além disso, Curi (2017) esclarece que os chamados ciclos de operações do desenvolvimento, são vistos como conjuntos de atividades em uma mina, que prepara o acesso à algo, como o corpo mineralizado. A partir disso, tem-se os dois tipos de acessos no desenvolvimento: o primário (exploratório) e o secundário (produtivo).

No primeiro ocorrem as operações no estéril. Já no segundo, entende-se como desenvolvimento produtivo, pois todas as suas operações ocorrem dentro do corpo de minério, onde esse material removido pode ser enviado à planta de processamento, agregando valor à operação (MELLO, 2023).

### 3.3 Perfuração

A perfuração é a primeira etapa logo após o planejamento da lavra. Além disso, orienta-se para a importância de ter bem planejada, pois esta etapa otimiza as demais. Torna-se necessário analisar, entre outros aspectos: material, volume da rocha, produção ou distribuição, equipamento, porte do equipamento (MELLO, 2023; CAVALCANTI, 2019).

Rodrigues (2018) explica que além das características da mina, é essencial caracterizar a geomecânica, onde serão realizadas as perfurações, vez que algumas particularidades das rochas, intervêm diretamente nos mecanismos de penetração, sendo as principais delas: abrasividade, textura, estrutura, elasticidade, dureza, resistência e plasticidade.

Quanto aos principais parâmetros de um furo, define-se o diâmetro, a profundidade, estabilidade e retilinidade. Alves (2022) explica que o diâmetro do furo, dependerá do tipo de material que será lavrado e qual sua finalidade; além disso, os furos que possuem grandes diâmetros, automaticamente aumentam a malha de perfuração, ou seja, quanto menor perfurar, mais será necessário perfurar, para que seja gerado o mesmo volume de material fragmentado.

Quanto à forma com que o maciço é rompido, tem-se os rotopercussivos e os rotativos. Os primeiros relacionam-se com a dureza da rocha, já os rotativos, com as rochas mais brandas (RODRIGUES, 2018).

A perfuração vai acontecer a partir da execução dos Planos de Fogo, que serão apresentados em seguida, além das seções das galerias. Ademais, o equipamento de perfuração utilizado neste trabalho foi o Jumbo DD421 (FIG. 3):

Figura 3 - Jumbo DD421



Fonte: Sandvik, 2023

Considera-se que:

O Sandvik DD421 é um equipamento de perfuração de dois braços eletro-hidráulico para desenvolvimento em mineração, projetado para perfuração rápida e precisa em derivações e túneis com seções transversais de 8 a 60 metros quadrados. Esse jumbo de mineração oferece um sistema de controle hidráulico aperfeiçoado com novos recursos que permitem o desempenho perfeito da perfuração com um controle eficiente. Estruturas robustas, bem projetadas e componentes comprovadamente testados asseguram um local de trabalho confiável para os operadores e para a equipe de manutenção (SANDVIK, 2023).





Além disso, quanto às vantagens deste equipamento, tem-se: certificação FOPS/ROPS, que aumenta a segurança do operador; chassi com agilidade para deslocamento em túneis, quando as seções forem reduzidas, e, como o módulo de perfuração é compacto, ele oferece recursos de perfuração com multidireções, quando os túneis possuem altura reduzida (SANDVIK, 2023).

### **3.3.1 Bit**

Segundo Santos (2022), os bits são considerados “corpos”, que durante a perfuração, ficarão em contato direto com a rocha, com isso, o autor explica que é essencial escolher o bit que adequar-se-á melhor a cada maciço rochoso, garantindo uma perfuração efetiva. Leva-se em consideração, os principais parâmetros individuais, tais como: dureza e resistência.

Os bits possuem particularidades como na figura abaixo (FIG. 4), que demonstra as faces, quais bits são mais aptos para cada face, e as características adicionais:

Figura 4 - Tipo de face de bit

	Face	Mais apto para rocha	Controle sobre o desvio	Características adicionais
	Domo	Dura e abrasiva	Regular	Boa proteção dos botões periféricos
	Domo com calibre duplo	Muito dura e abrasiva	Regular	Máxima proteção dos botões periféricos
	Plana	Dura e/ou irregular	Bom	Apto para terrenos fraturados Mais frágil
	Côncavo	Semidura e homogênea	Excelente	Excelente soprado

Fonte: Silva, 2019 *apud* Santos, 2022, p. 19

Além disso, outra variação perceptível, relaciona-se às estruturas do corpo, como no caso dos números de botões. Santos (2019) aponta que, quando se tratar de número de botões, que ocorre no contato direto entre a broca e o maciço, observar-se-á três formas diferentes: balístico (solos não abrasivos), semibalístico (solos meio abrasivos) e esférico (solos duros, abrasivos ou muito abrasivos). A escolha por apenas um destes, varia de acordo com as propriedades físicas e mecânicas do maciço.

### 3.4 Carregamento de explosivos

Primeiramente, segundo explica Ferraz (2022), os explosivos são considerados misturas ou substâncias em qualquer estado físico (sólido, líquido, gasosos), que, quando entram em contato com agentes externos, acabam por se decompor quimicamente, imediatamente, ou em curtos intervalos de tempo.

Quanto às propriedades dos explosivos, elas se subdividem entre: densidade, velocidade de detonação, pressão de detonação, estabilidade, resistência à água e sensibilidade (MELLO, 2023).

À partir disso, o carregamento de explosivos ocorre no momento em que já aconteceu a perfuração da rocha, e que em seguida, necessita-se que os explosivos sejam carregados à frente de serviço. Esta tarefa é executada somente por quem é habilitado, e somente estes podem permanecer na área. Entre os diferentes tipos de explosivos brasileiros, destaca-se: as dinamites, os ANFO, as emulsões oxidantes e as pólvoras (LIMA, 2016).

### 3.5 Plano de Fogo

A área de desmonte de rochas com explosivos, ainda é um tema que gera muita curiosidade, principalmente como fazer ou elaborar um Plano de Fogo. Lima (2016) aponta que, resumidamente, este plano é uma das principais documentações a ser elaborada previamente à uma atividade que envolva detonação, vez que o plano vai guiar todo o procedimento.

De uma forma geral, o Plano de Fogo terá, essencialmente, duas etapas. A primeira delas é a elaboração de um croqui. Lima (2016) explica que, assim como uma casa tem uma planta, é necessário desenhar, em forma de croqui, o plano que representará a detonação. A segunda etapa é a definição de todos os detalhes, realizados de maneira descritiva e minuciosa, como por exemplo: local, tamanho da detonação, características do local, responsável técnico, etc.; além disso, descreve-se os materiais e quantidades de explosivos e acessórios empregados, a detonação (se por afastamento, espaçamento, etc.), e demais detalhes que envolvem a detonação (LIMA, 2016).

Uma ressalva que se faz é que, diante de um Plano de Fogo, ainda existe um abismo considerável ao distinguir a teoria da prática, e mesmo com duas detonações muito parecidas, raramente um croqui servirá para dois locais diferentes (LIMA, 2016).

Figura 5 - Plano de Fogo

#### PLANO DE FOGO

##### NOMENCLATURA

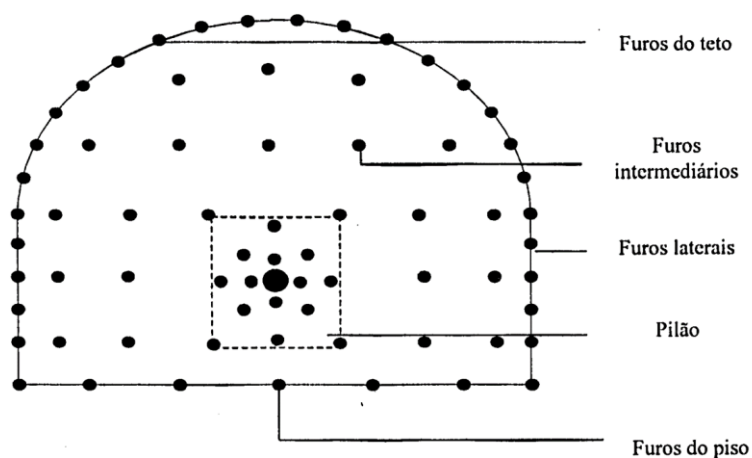


Figura P

Fonte: Arquivo Interno FBDM

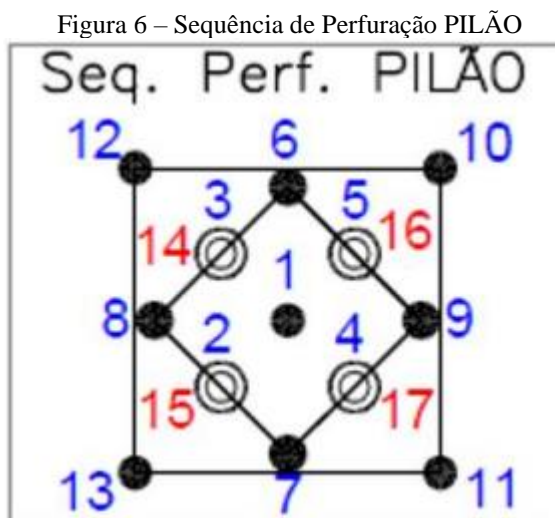
A figura (FIG. 5) acima representa um projeto de Plano de Fogo. Observa-se que existem vários furos diferentes, como os do teto, os intermediários, os laterais e os do piso, que terão tempo de detonação diferente um do outro; mas, os furos do pilão estarão sempre localizados no centro da seção, cujo objetivo é justamente o de promover a abertura inicial, e os demais furos estarão em adjacentes (FRANCO, 2014).

Ainda segundo Franco (2014), além do Plano de Fogo quando bem elaborado, determinar o sucesso da detonação, é necessário observar as condições geológicas e geomecânicas do maciço; quando estes fatores são respeitados, acredita-se que o plano consegue avançar cerca de 90% a 95% em uma detonação.

### 3.6 Pilão

Para um desmonte ser eficiente é necessário que a rocha a ser desmontada tenha face livre, que no caso do desenvolvimento de minas subterrâneas se chama Pilão (*cut*). Este pilão é formado por furos carregados e não carregados (furos alargados) (SANTOS, 2021).

Os furos alargados têm a função de criar uma segunda face livre para onde a detonação dos furos do “primeiro quadrado” irá projetar a rocha. Os furos internos do pilão serão os primeiros a serem detonados, seguidos pelos furos mais próximos à nova face livre, e assim sucessivamente (SANTOS, 2021). A figura a seguir (FIG. 6) indica a sequência de perfuração e detonação do pilão.



Fonte: Arquivo Interno FBDM

O tipo de pilão mais utilizado é o de furos paralelos com furos alargados. Todos os furos são paralelos uns aos outros. Pode ser utilizado em qualquer região da face do túnel, mas influencia no lançamento, na razão de carga e no número de furos da malha (SANTOS, 2021).

### **3.7 Sequenciamento**

Em sequência às perfurações das rochas, está a etapa dos desmontes de rochas, com a utilização, por exemplo, de explosivos, sempre calculados através do Plano de Fogo, para sua melhor execução (FERRAZ, 2022).

O desmonte de rochas, pode ser definido, à partir da ideia de Araújo (2020, p. 12) como: “um conjunto de atividades utilizadas para promover a fragmentação de um determinado volume de rocha pertencente ao maciço; classificado em quatro tipos: desmonte com explosivo, mecânico, hidráulico e manual”.

Ele é realizado da seguinte maneira:

No momento da detonação é liberada uma onda de choque que percorre a área rochosa, com uma velocidade que varia de 3000 a 5000 m/s, o que causa tensões a partir do furo detonado, além da abertura de outras fissuras na rocha. Toda a expansão de gases faz com que seu estado elástico se rompa e promova a fragmentação da rocha (ARAÚJO, 2020, p. 14).

Araújo (2020) esclarece ainda que, o desmonte com explosivo, é uma técnica muito utilizada, desde o século XVII, quando passou-se a inseri-la nas minas, através das pólvoras. Atualmente, esta técnica está mais aperfeiçoada, mas diante de um desmonte, ainda é a mais usual.

Além disso, ele é visto como mais uma das etapas das operações e/ou atividades em uma mina, sempre acompanhado das demais, como perfuração, carregamento e transporte (FERRAZ, 2022).

### **3.8 Limpeza e transporte**

Após a detonação, a etapa seguinte é a limpeza e o transporte do material. Cada empresa divide a quantidade a ser transportada em diferentes caminhões, que poderão ser realocados a depender da operação realizada, seguindo normas e regras por conta do coordenador (MELLO, 2023).

### **3.9 Abatimento de choco**

Em seguida, está o abatimento de choco. Mello (2023) explica que um ciclo convencional de operações envolvendo minas subterrâneas, sendo o desmonte, o carregamento e o transporte. Porém, existem pequenas operações básicas que auxiliam todo este processo, como, por exemplo, o controle da deformação do maciço rochoso. Além disso, entende-se que após o desmonte, é necessário realizar o abatimento de choco, para poder manter as condições de segurança.

Em uma detonação, gera-se uma abertura, no qual, estas aberturas podem ocorrer quedas de rochas, sendo estas rochas chamadas de “choco”. Ao estarem em queda, os chocos são considerados perigosos dentro de uma mina, causando sérios acidentes tanto com os indivíduos nos locais, como estragos nos equipamentos. Com isso, o local somente é liberado, após vistoria e avaliação com recomendações claras e específicas, afastando o perigo das quedas de chocos (MELLO, 2023).

A partir disso, o abatimento de choco é realizado por trabalhadores da empresa responsável pela detonação, no qual, com auxílio de equipamentos longos, que alcancem as rochas, será feito de forma manual este abatimento, para que as rochas instáveis ou soltas, sofram quedas controladas (MELLO, 2023).

### **3.10 PDCA**

O PDCA, sigla derivada de “*Plan, Do, Check, Act*”, que em tradução literal para o português significa “Planejar, Fazer, Verificar e Agir”, tornou-se uma importante metodologia voltada para a melhoria contínua e a gestão das empresas, visando sempre um gerenciamento eficaz e organizado (FERREIRA *et al.*, 2022).

Um modelo é visto na figura abaixo:



Figura 7 - PDCA



Fonte: Pedra, 2022.

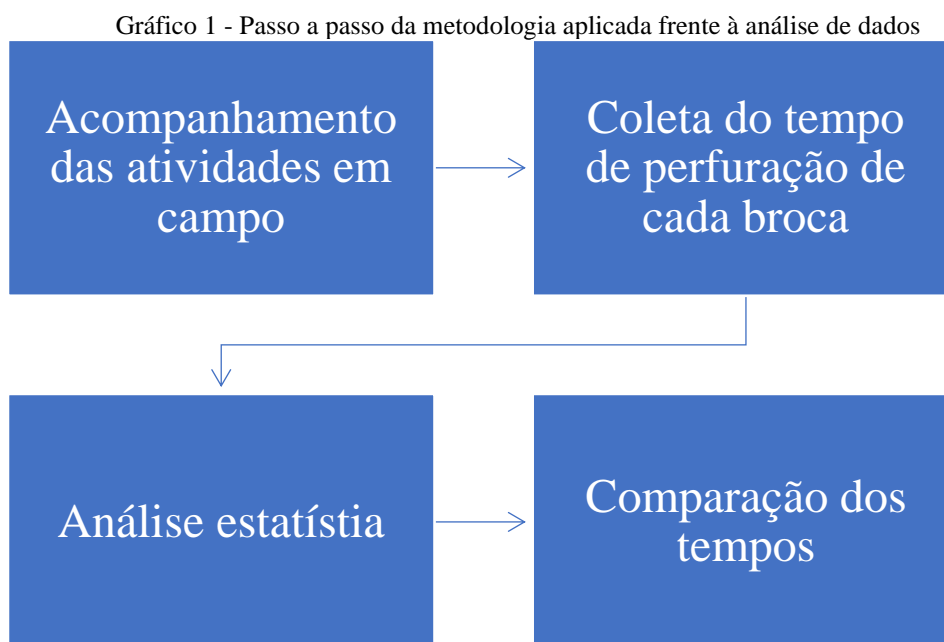
Ferreira *et al.* (2022) apontam sobre alguns dos benefícios que tal ferramenta traz, como: a) aperfeiçoamento dos processos; b) identificação de erros, falhas e outros problemas; c) potencialização das diretrizes e do controle do processo; d) integração da equipe, na busca por ouvi-los e identificar na visão deles, o que pode ser melhorado; e) aprimoramento do processo contínuo.

Ainda segundo os autores, com a padronização de cada procedimento, aumenta-se a gestão de produção e de qualidade, dirimindo erros futuros, melhorando os atuais (FERREIRA *et al.*, 2022).

#### 4. METODOLOGIA

O presente trabalho compreende o acompanhamento em campo das operações de perfuração de desenvolvimento com brocas 51 e 45 mm respectivamente, coleta de tempos de perfuração, análise estatística dos dados para validação do número mínimo de amostra, comparativo entre as duas perfurações e quantificação dos impactos causados com a variação do *bit*.

Para que todas as etapas fossem seguidas corretamente, observou-se o seguinte passo a passo:



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados coletados entre 25 de agosto a 31 de agosto de 2020 compreendem os tempos de perfuração dos furos de desenvolvimento para a obtenção de um tempo médio representativo ao tempo de perfuração do ciclo do desenvolvimento. Foi considerado o ciclo do desenvolvimento de galerias composto pelas seguintes operações básicas: perfuração, suporte, carregamento de frente, limpeza, abatimento de choco mecanizado, raspagem, saneamento manual e marcação da nova frente.

Quanto aos locais das medições, a Tabela 1 ilustra as condições de coleta das informações.

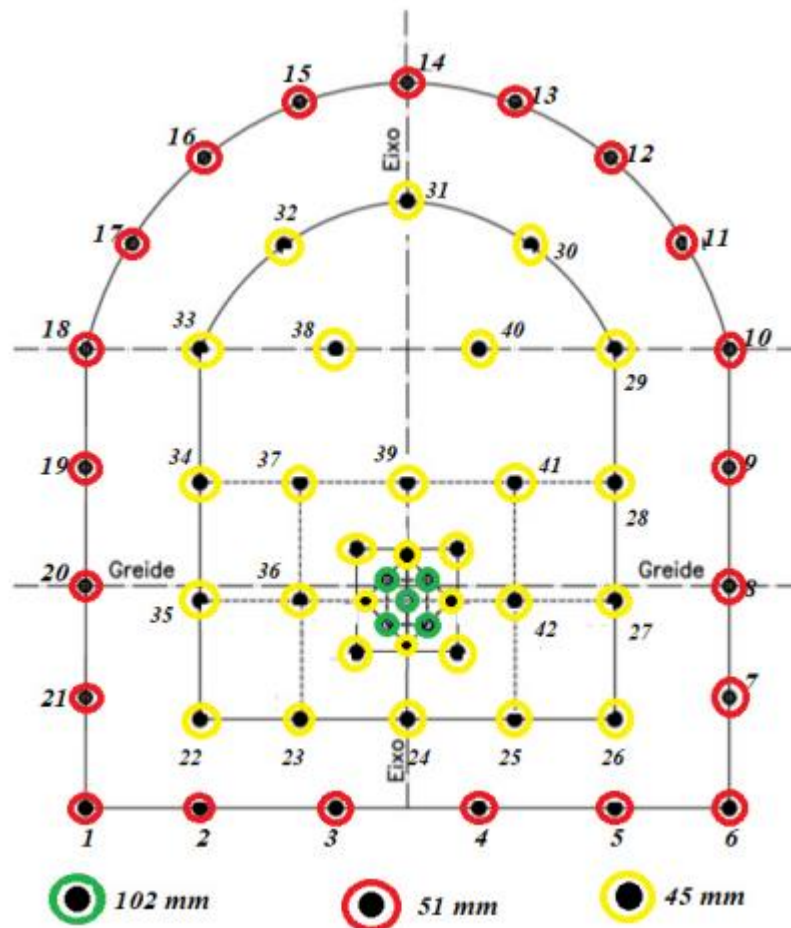
Tabela 1 – Condições de Coleta

Medidas	Frentes	Jumbo	Operador	Galeria	Tipo	Rocha	Data	Rendimento médio do fogo
1ª	W41E2	JB 134	Roni	4,5 x 4,9	15%	Dura	25/ago	88%
2ª	C170W	JB 135	Márcio	4,5 x 4,9	0%	Boa	26/ago	88%
3ª	BR2	JB 135	Rodolfo	4,5 x 4,9	0%	Boa	27/ago	88%
4ª	C170E	JB119	Sabino	4,5 x 4,9	0%	Boa	28/ago	88%
5ª	C170W	JB119	Sabino	4,5 x 4,9	0%	Boa	31/ago	88%

Fonte: Arquivo Interno FBDM

A Figura 8 ilustra o sequenciamento utilizado para obtenção dos tempos de perfuração das frentes com *bit* de 45 mm, correspondendo a 34 furos por frente, totalizando 170 furos, tomando como base a tabela acima.

Figura 8 – Ilustração do Sequenciamento



Fonte: Arquivo Interno FBDM


As perfurações que utilizam o *bit* de 45 mm somente foram realizadas nas frentes W53AC e W54AC pelo Jumbo definido pela supervisão da turma. Pelo fato de o diâmetro ser menor, os operadores tiveram a incumbência de limpar os furos após serem perfurados para evitar destruição do furo e facilitar na hora do carregamento com explosivos.

Alguns pontos a serem observados:

- ✓ Deve-se manter os furos do piso (6 furos) e furos de contorno (17 furos) com 51 mm, os demais furos do pilão (3 furos) com 102 mm;
- ✓ Os furos intermediários (28 furos) devem ser perfurados com *bit* de 45 mm;
- ✓ A caixa contém 5 *bit's* enumerados. Recomenda-se a perfuração dos furos, 28 furos intermediários, seguindo a orientação abaixo:
  - *Bit 1 – fazer 6 furos*
  - *Bit 2 – fazer 6 furos*
  - *Bit 3 – fazer 6 furos*
  - *Bit 4 – fazer 5 furos*
  - *Bit 5 – fazer 5 furos*
- ✓ A orientação passada foi para que os *bit's* fossem substituídos a cada vez que completassem a quantidade estipulada, de preferência aos pares. Ou seja, usar os *bit's* 1 e 2, completando os 12 furos; trocar para os *bit's* 3 e 4; depois o *bit* 5. Dessa forma o desgaste pôde ser mensurado de forma mais eficiente e garantir um menor erro de medição.
- ✓ Após o final do turno, o jumbo deveria entregar a caixa com os *bit's* na afiação para avaliação do desgaste dos botões com auxílio do paquímetro.

A Figura 9 ilustra a forma como o operador de jumbo deveria preencher os dados coletados.

Figura 9 – Modelo de tabela de controle de frentes



**CONTROLE DE FRENTES - BIT 45 mm**

DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_      TURMA: \_\_\_\_\_      TURNO: \_\_\_\_\_

SUPERVISOR: \_\_\_\_\_

OPERADOR: \_\_\_\_\_      FRENTE: ( ) W53AC      ( ) W54A

FUROS	TEMPO DE PERFURAÇÃO - 45 mm		OBSERVAÇÕES
	BRAÇO ESQUERDO	BRAÇO DIREITO	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			

Fonte: Arquivo Interno

Com tais dados em mãos, o tratamento foi realizado com a finalidade de corroborar as vantagens de tal plano de ação.

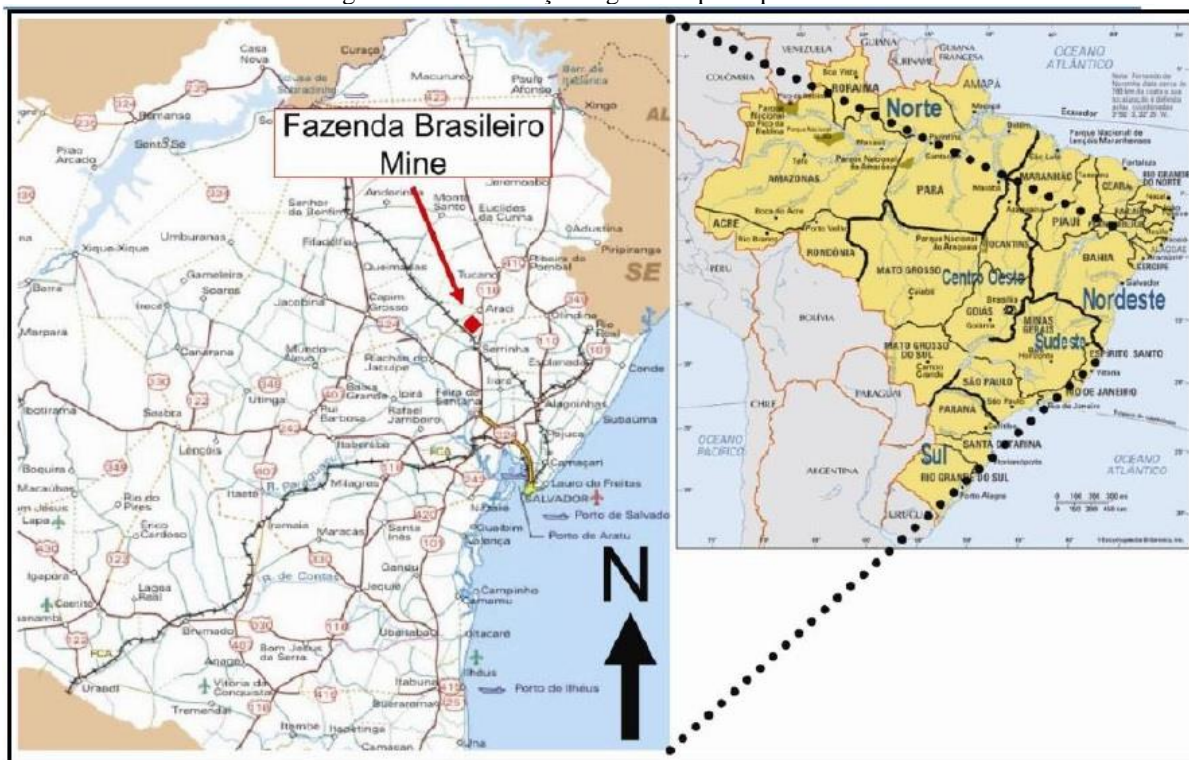
## **5. ESTUDO DE CASO**

A Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral (FBDM) faz parte de um importante cenário para o crescimento da atividade mineradora no estado da Bahia. A empresa atua há mais de 30 anos, desenvolvendo minas a céu aberto e subterrâneas. Em 2021, a CFEM arrecadou um total de 8,3 milhões de reais, o mesmo que em 2020, e impulsionou fundamentalmente a receita pública. Localizada na cidade de Barrocas, a FBDM é administrada desde 2020 pelo Grupo Equinox Gold, que também possui outro ativo no estado, a Santa Luz Desenvolvimento Mineral (SLDM) (GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 2022).

### **5.1 Localização**

A área de Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral LTDA. está situada na porção NE do Estado da Bahia, cerca de 220 km ao norte da cidade de Salvador, capital do estado, sendo atingido, a partir desta, pelas rodovias federais pavimentadas BR-324 até a cidade de Feira de Santana e posteriormente, no rumo norte, pela BR-116 até a sede do município de Teofilândia num total em torno de 194 km; desta sede até a área da mina percorre-se em torno de 15 km por estrada de terra em boas condições de tráfego durante todo o ano. A Figura indica a localização regional da área da FBDM e os principais acessos em relação às áreas de sua titularidade.

Figura 10 – Localização regional e principais acessos



Fonte: Arquivo Interno FBDM

A cidade de Teofilândia situa-se na margem da rodovia federal BR-116, principal meio de ligação rodoviária entre o Nordeste Brasileiro e o centro-sul do país, e tem sua economia movimentada em função da mineração e da pecuária. Com uma população estimada em torno de 20.000 habitantes, Teofilândia tem como principal polo regional a sede do município de Serrinha situada a 20 km mais a sul e que também é cortada pela BR-116.

## 5.2 Geologia

A porção sul do *Greenstone Belt* do Rio Itapicuru (GBRI) onde se posiciona o distrito aurífero Fazenda Brasileiro consiste num pacote de supracrustais de orientação geral E-W, com mergulho da ordem de 40° para sul, intrudido por granitóides sin-D2, que encerra as principais mineralizações auríferas do terreno granito-*greenstone*. As rochas vulcano-sedimentares deste setor contornam o domo granito-gnáissico de Barrocas, a sul, e se bifurcam ao redor da borda oeste do domo granito-gnáissico de Teofilândia. De acordo com Alves da Silva (1994), essas rochas constituem o flanco invertido de uma dobra antiformal D2.

Uma proposta de divisão litoestratigráfica para o pacote vulcano-sedimentar neste setor sul do GBRI foi feita por Kishida *et al.* (1991), onde as supracrustais foram divididas em 4

sequências distintas, distribuídas de norte a sul da seguinte maneira: Abóbora, Canto, Fazenda Brasileiro e Riacho do Incó.

- **Sequência Fazenda Abóbora**, constituída por um espesso pacote de lavas basálticas, com finas intercalações metassedimentares, no extremo norte da Faixa Weber, onde se encontra o corpo aurífero de Abóbora. Essa sequência pode ser correlacionada a UVM da geologia regional;
- **Sequência Fazenda Canto**, composta por rochas vulcânicas (lavas e piroclásticas intermediárias a félsicas) além de metassedimentos pelíticos, em geral carbonosos, com intercalações de metagrauvas, metassiltitos e cherts. Feições sedimentares primárias podem, por vezes, serem ainda reconhecidas, tais como: acamamento gradacional, laminação convoluta e estrutura de *slumping* (TEIXEIRA, 1984). Finas intercalações de material basáltico estão presentes nesta sequência. São também descritas na sequência Canto, rochas porfiríticas, de natureza subvulcânica. Os principais corpos auríferos nesse contexto são Canto I e Canto II. A sequência Fazenda Canto corresponde a UVF regional;
- **Sequência Fazenda Brasileiro**, localizada na porção intermediária da Faixa Weber, hospeda o maior corpo mineralizado da área. Esta unidade litoestratigráfica consiste de:
  - i. Uma associação de metapelitos grafitosos e *chert*, constituindo uma camada fina de grande continuidade lateral, denominada de horizonte guia, que constitui a capa (*hanging wall*) do minério de Fazenda Brasileiro. Estas rochas estão associadas à metabasaltos e pertencem ao topo da sequência Riacho do Incó;
  - ii. Um sill gabróico a Fe-gabróico, colocado ao longo do contato entre metabasaltos e metassedimentos carbonosos da sequência Riacho do Incó e metassedimentos e metavulcânicas intermediárias/félsicas da sequência Canto (*footwall*). Os produtos do cisalhamento e da alteração hidrotermal dessa rocha gabróica recebem, localmente, denominações de CLX (quartzo-Fe clorita/Fe actinolita xisto) e CAX (sericita-Fe clorita/Fe actinolita-carbonato xisto). O CLX, muito rico em magnetita, denominado de XM (xisto magnético), é a principal hospedeira da mineralização aurífera;
  - iii. Produtos altamente cisalhados e hidrotermalizados das rochas subvulcânicas, vulcânicas e vulcanoclásticas félsicas da sequência Canto, encaixantes superiores, e
  - iv. Intrusivas félsicas subvulcânicas, porfiríticas, de composição geral quartzo-feldspato pórfiro.



- **Sequência Riacho do Incó**, que compreende os metabasaltos, sills gabróticos e intercalações de metassedimentos pelíticos carbonosos, os quais correspondem à Unidade Vulcânica Máfica da estratigrafia regional.

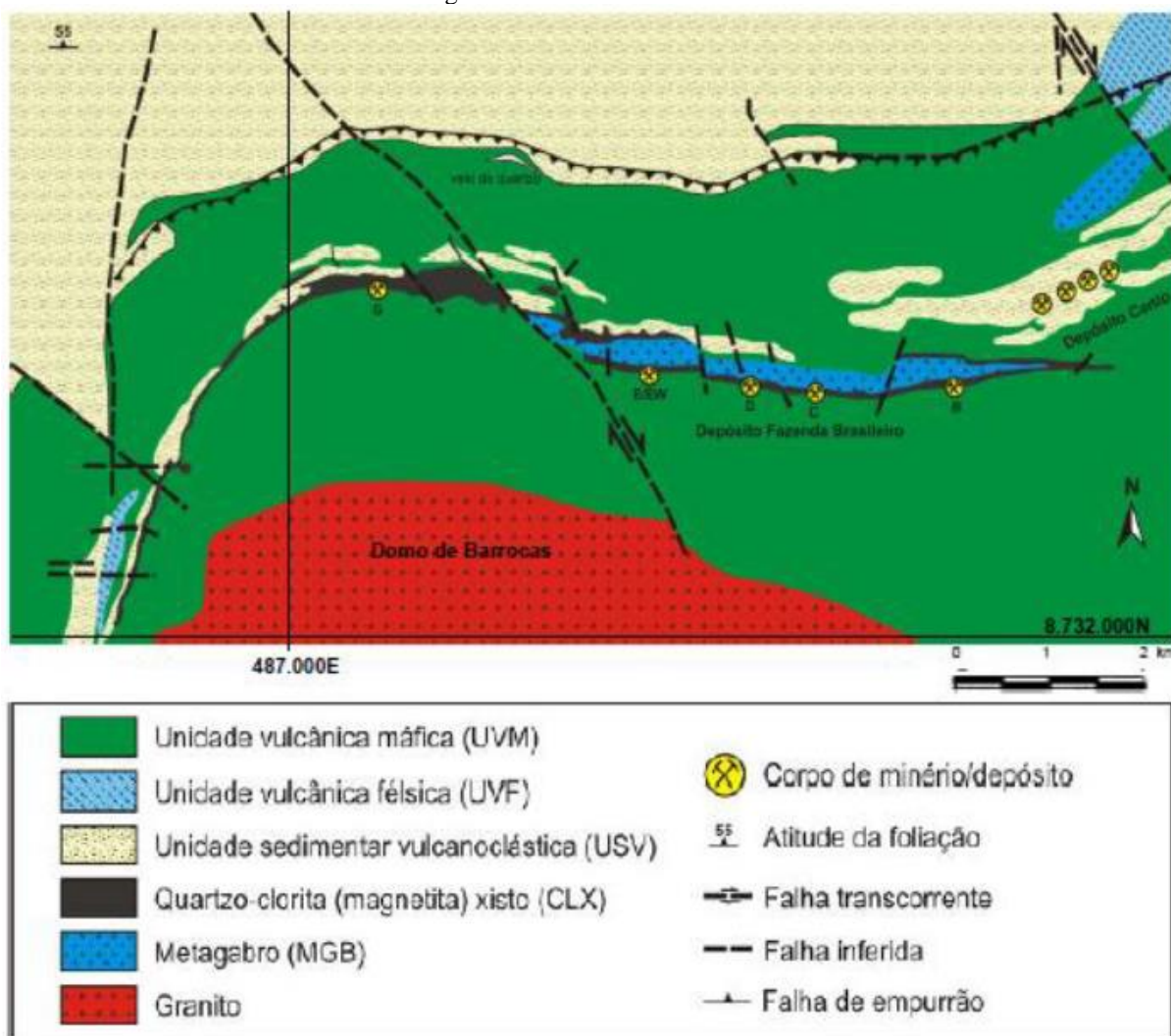
### 5.3 Ouro

A principal vocação metalogenética do GBRI tem sido para a presença de mineralizações auríferas. As principais áreas mineralizadas encontram-se na porção sul do greenstone, onde se localiza a mina Fazenda Brasileiro, e na porção central, ao longo do rio Itapicuru, no domínio da Fazenda Maria Preta. O ouro ocorre em duas formas distintas:

- i. Associado a sulfetos nas bordas de veios de quartzo-albita-carbonato, encaixados em zonas de cisalhamento que afetam um sill gabrótico diferenciado. Esse é o modo de ocorrência de ouro predominante da mina Fazenda Brasileiro, onde os veios são acompanhados de intensa carbonatização, sericitização, silicificação e sulfetação (arsenopirita, pirrotita e pirita) das rochas encaixantes;
- ii. Livre e/ou secundariamente associado a sulfetos, em veios de quartzo encaixados em zonas de cisalhamento, dentro de metassedimentos vulcanoclásticos félsicos.

Esse modo de ocorrência de ouro predomina no distrito de Fazenda Maria Preta (porção centro-norte do greenstone) e nos depósitos da Fazenda Canto (porção sul do greenstone).

Figura 11 – Áreas mineralizadas

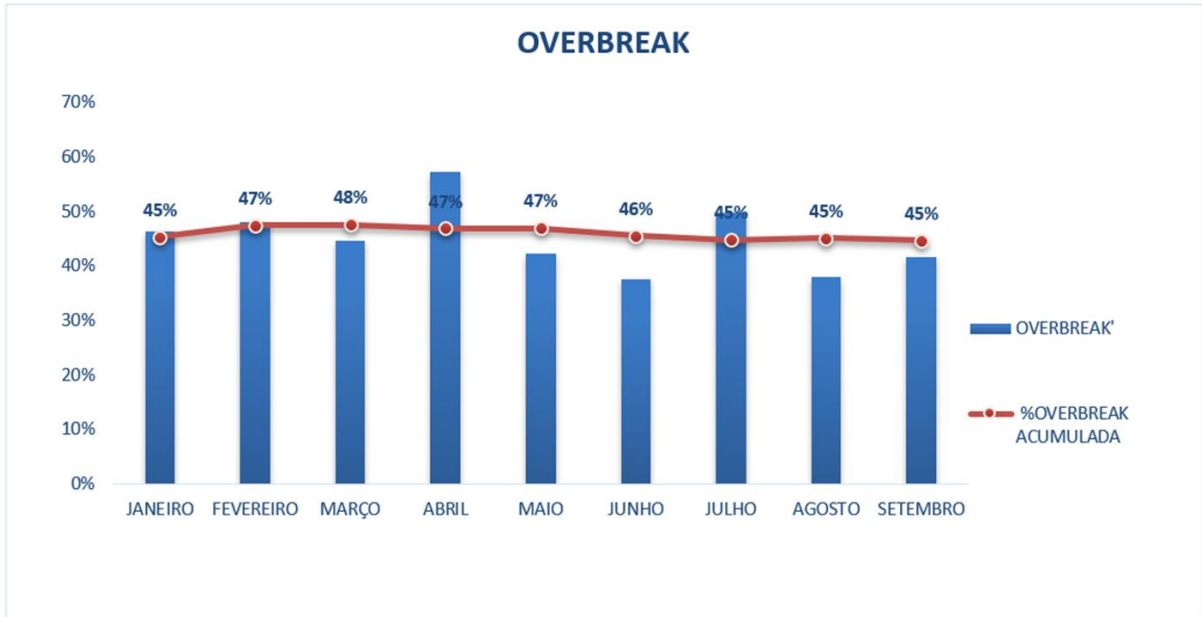


Fonte: Arquivo Interno FBDM

#### 5.4 Identificação do Problema

A presença de overbreak ao longo do desenvolvimento de galerias subterrâneas acarreta na diluição do material (no caso do desenvolvimento produtivo), diminui a segurança da mesma, além de trazer custos extras à operação (maior movimentação de material, por exemplo). Ao longo do ano de 2021 foi levantado o volume total de 28.131,62 m<sup>3</sup> de over, sendo 15.831,26 m<sup>3</sup> desenvolvimento produtivo e 12.300,36 m<sup>3</sup> desenvolvimento exploratório, como ilustrado na Figura 12.

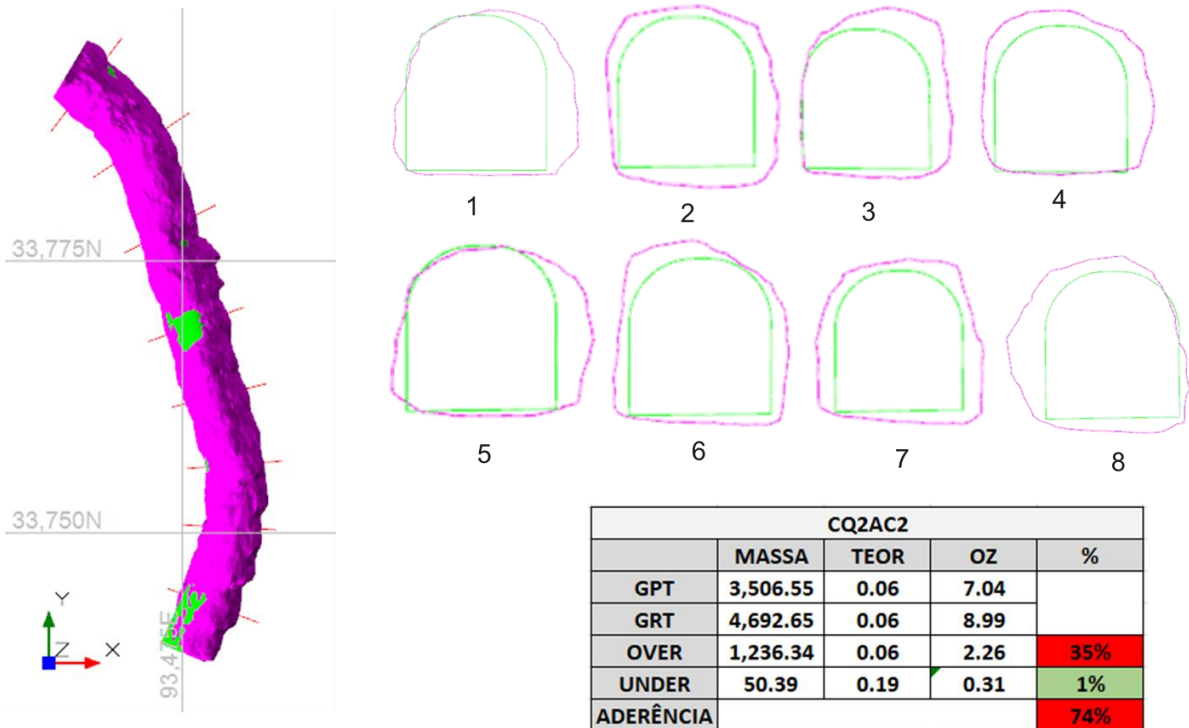
Figura 12 - Overbreak



Fonte: Arquivo Interno FBDM

A Figura 13 ilustra o perfil da galeria CQ2AC2, onde o contorno verde mostra o perfil planejado e o rosa, o perfil realizado, com a presença de overbreak. Tal galeria se insere dentro do desenvolvimento produtivo. Logo o overbreak, por consequência, acarreta em diluição do minério.

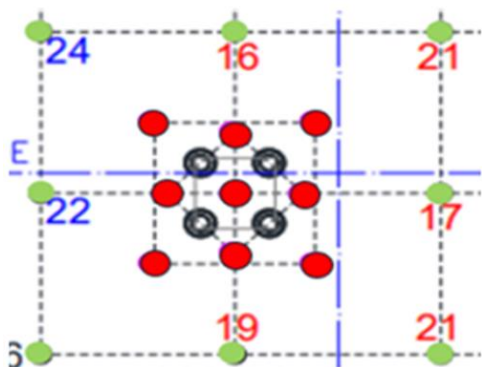
Figura 13 - CQ2AC2



Fonte: Arquivo Interno FBDM

Um dos principais problemas encontrados no estudo, a correta marcação e perfuração do pilão, é ilustrado na Figura 14:

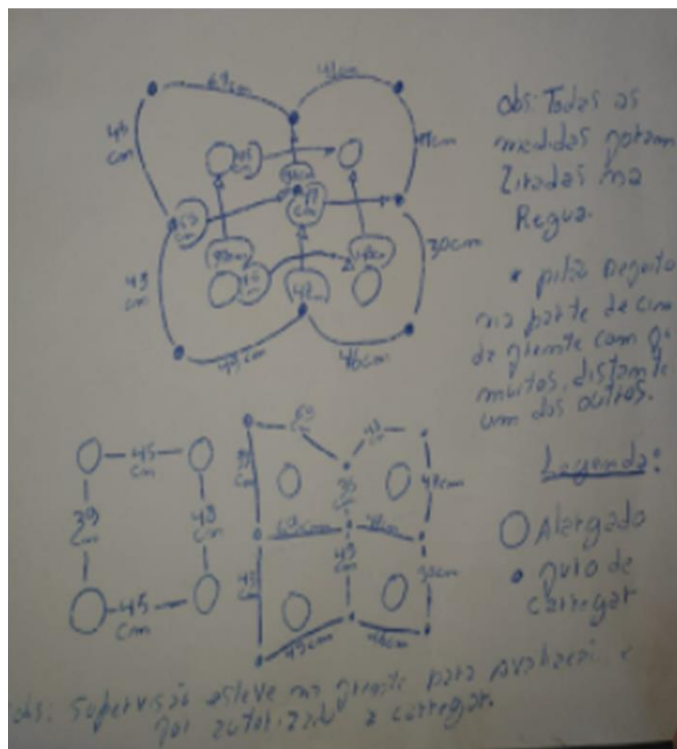
Pilão Planejado:



Pilão Realizado:



Figura 14 - Pilão

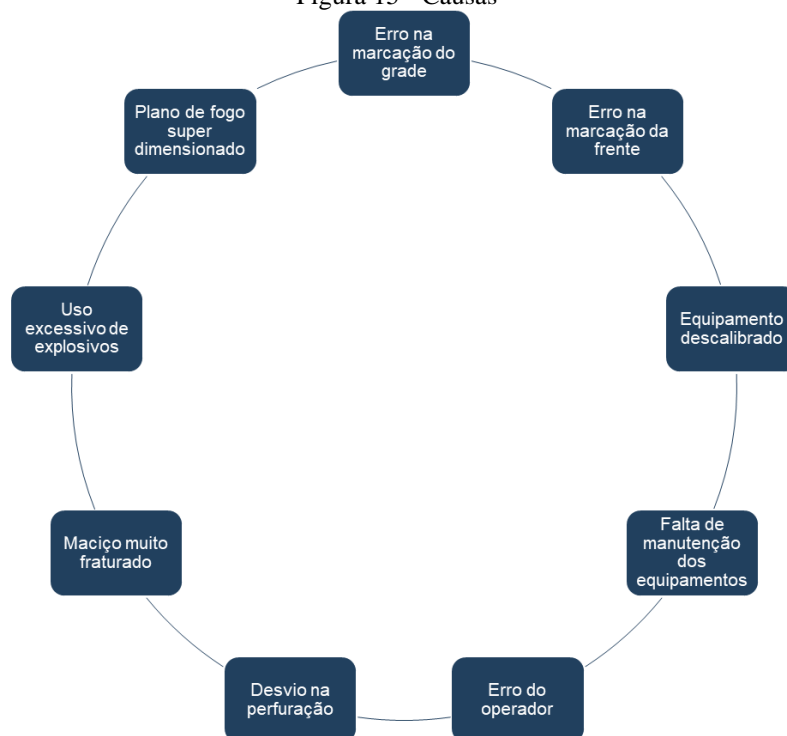


Arquivo Interno FBDM

## 5.5 Causas

Os motivos para que o desmonte não seja efetuado com qualidade não estão relacionados apenas à fatores ligados ao ciclo operacional. Por se tratar de um conjunto de práticas intersetoriais, a perfuração depende de um bom trabalho realizado por diversas áreas de um empreendimento mineral, passando pela equipe de topografia (marcação de grade e frente), equipe de manutenção de frota (calibragem e manutenção periódica – preditiva, preventiva e corretiva), equipe de operação (imperícia ao operar o equipamento, uso excessivo de explosivos), equipe de geomecânica (indicando maciços muito fraturados) e equipe de planejamento (plano de fogo super dimensionado). Na figura 15, tem-se a relação entre os possíveis erros a serem monitorados durante o estudo.

Figura 15 - Causas



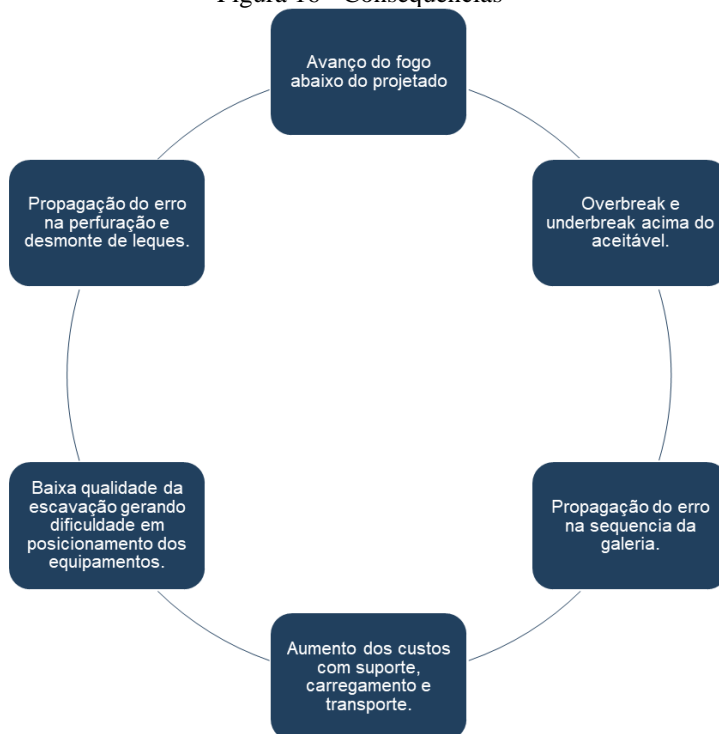
Fonte: Arquivo Interno FBDM

## 5.6 Consequências

O resultado de uma detonação sem qualidade impacta diretamente no tempo de ciclo operacional, tanto de desenvolvimento quanto da lavra. Visto que um desmonte de uma galeria que não seguiu os parâmetros planejados implica em um avanço abaixo do esperado (por consequência, a metragem de desenvolvimento mensal vai demorar mais pra ser atingida).

O overbreak e o underbreak acima do aceitável provoca um tratamento específico de geomecânica (a quantidade e o tipo de suporte a ser utilizado tem que ser revisto, visando a segurança da operação), maior tempo de ciclo será consumido na etapa de saneamento da frente (maior tempo de limpeza, abatimento de choco e preparação para o próximo desmonte). A alteração desse processo acarreta em maiores gastos ao final do ciclo. A figura 16 correlaciona tais desvios.

Figura 16 - Consequências

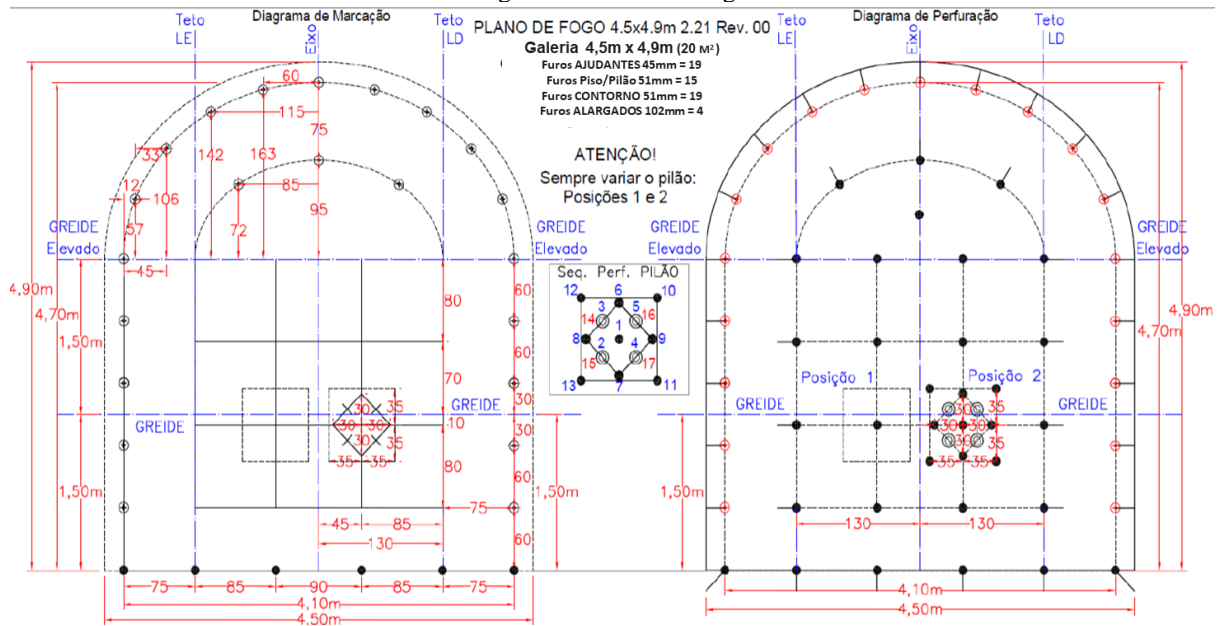


Fonte: Arquivo Interno FBDM

### 5.7 Plano de Ação

Na intenção de se mitigar tais erros e suas propagações, de início, propôs-se a alteração do diâmetro do bit para os furos do interior da capela do plano de fogo de desenvolvimento. Intuitivamente, tal decisão já implicaria na diminuição da razão de carga, visto que já era esperado a diminuição do consumo de emulsão, já que ela ocuparia um volume menor. A Figura 17 ilustra o plano de fogo proposto para galerias de 4,5 m x 4,9 m.

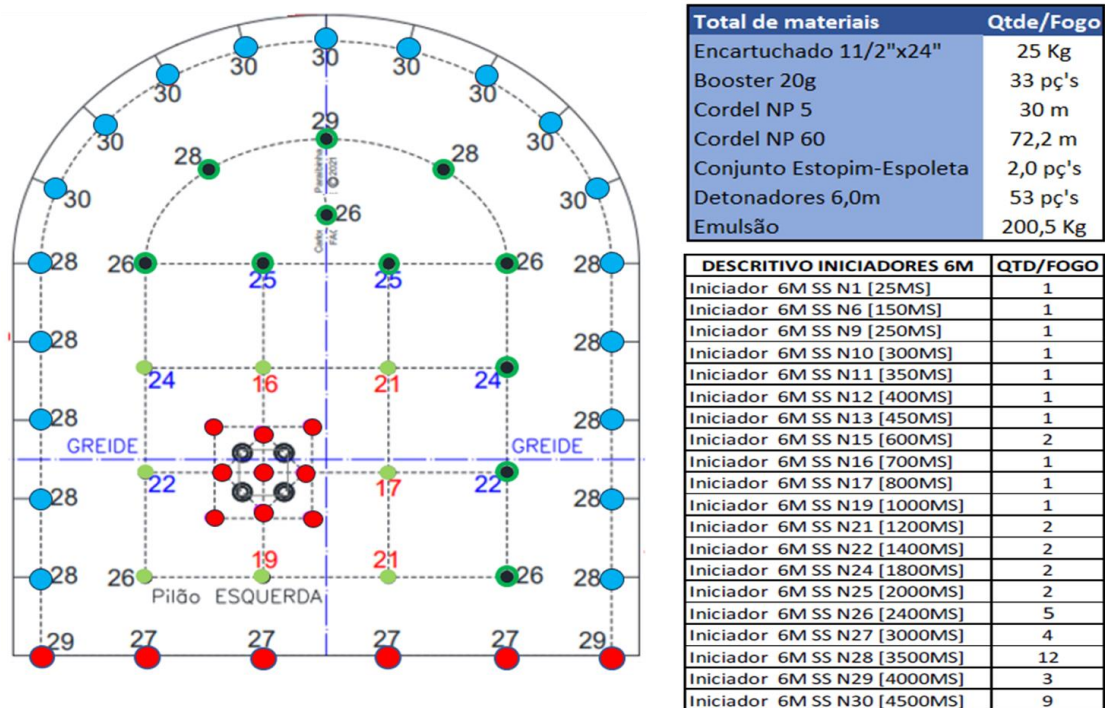
Figura 17 - Plano de fogo



Fonte: Arquivo Interno FBDM

Para a implantação de tal plano, mostrou-se necessário a preparação, em forma de treinamentos teóricos e práticos dos colaboradores envolvidos na atividade de perfuração de rocha (em suma, os operadores de jumbo). A Figura 18 contempla o esboço do plano de fogo, assim como a quantidade de acessórios e emulsão a serem consumidos no desmonte.

Figura 18 - Plano de Ação











Fonte: Arquivo Interno FBDM

## 5.8 Orientações

1. Evitar contato Cordel NP 5 com NP 60 e Emulsão;
2. Amarrar com NP 5, fazendo com que a linha passe entre a linha do contorno e a linha auxiliar;
3. Sempre fazer iniciação dos desmontes acompanhado de outro colaborador e veículo em condições de efetuar a fuga;
4. Após desmonte, aguardar 30 minutos para retornar à frente;
5. Foi inserido mais um furo na região da igreja (Espera N° 26), usar como escorva um cartucho de 1 ½"x24" e completar com 4,0Kg de emulsão;
6. Das 31 bananas que vem na caixa, 19 já saem do paiol montadas no cordel NP 60 (19 furos de contorno), sendo assim, sobram 12 bananas), 11 serão divididas ao meio e distribuídas nos furos de contorno e 1 será usada para fazer a escorva para o carregamento do furo da igreja.

A Tabela 2 define os parâmetros de carregamento e amarração do fogo.

Tabela 2 - Orientações

LEGENDA	TIPO	QTDE	DIAMETRO	ACESSÓRIOS	EXPLOSIVOS	TOTAL	UND	TAMPÃO
	Amarração	30 M	-	Cordel	m / Kg	30	M (NP 5)	-
	Contorno	19	51 mm	1 Exel + 1,5 cart. 1 ½" x 24"	1,65	31	Kg	10cm
	Contorno				3,8	72,2	M (NP 60)	
	Pilão	9	51 mm	1 Exel + 1 booster 20g	6,5	58,5	Kg (Emulsão)	40cm
	Ajudantes Pilão	8	45 mm	1 Exel + 1 booster 20g	6	48	Kg (Emulsão)	50cm
	Internos	11	45 mm	1 Exel + 1 booster 20g	5	55	Kg (Emulsão)	50cm
	Piso	6	51 mm	1 Exel + 1 booster 20g	6,5	39	Kg (Emulsão)	40cm
	Alargados	4	102 mm					
<b>Total furos</b>		<b>57</b>	<b>30 Cartuchos + 35 Boosters + 50 Exeis</b>		<b>Total Emulsão</b>	<b>200,5</b>		

Fonte: Arquivo Interno FBDM

## 5.9 Ações Aplicadas

Treinamento de Marcação de Pilão com Gabarito. Este treinamento focado em:

✓ Segurança durante atividade

A segurança durante a realização de qualquer atividade é primordial.



A tarefa de detecção e correção de situações com risco de queda de chocos do teto e laterais das galerias é de cada colaborador que identificar a situação na frente de serviço, sendo crucial para a segurança dos trabalhadores da mina UG.

✓ Uso adequado dos materiais;

Os materiais a serem utilizados na marcação do pilão são:

- Tinta spray;
- Gabarito de marcação;
- Plano de Fogo (impresso e plastificado).

A tinta spray de secagem rápida e sem ser a base d'água é a mais indicada para marcação do pilão, visto que normalmente é o último a ser perfurado.

O operador deve tomar cuidados em caso de contato da tinta com a pele (lavar com água e sabão em abundância) e em contato com olhos (enxaguar cuidadosamente com água durante cinco minutos e informe a sala de controle/supervisão/técnico de segurança do turno).

✓ Importância do pilão no Plano de Fogo;

✓ Padronização na marcação do pilão.

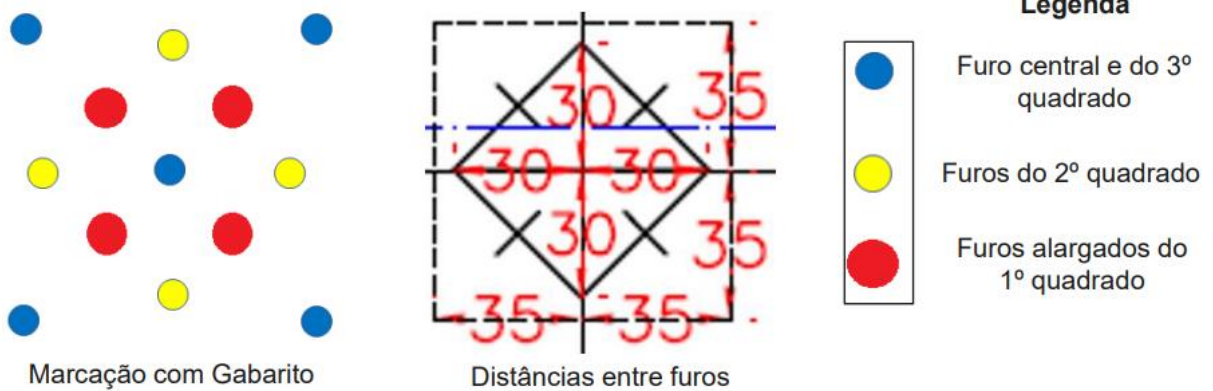
A atividade de marcação do pilão é realizada antes de ser iniciada a perfuração.

O pilão utilizado no novo Plano de Fogo é o de “Três quadrados”:

- 1º quadrado com furos alargados e distância de 21,2 cm entre os furos do 2º quadrado;
- 2º quadrado com furos carregados e distância de 30 cm do centro do furo central;
- 3º quadrado com furos carregados (vértices) e distância de 35 cm do centro do furo central.

A Figura 19 apresenta a marcação do pilão, identificando os tipos de furos com cada cor, para que sejam identificados, no gabarito, de forma visual.

Figura 19 - Marcação

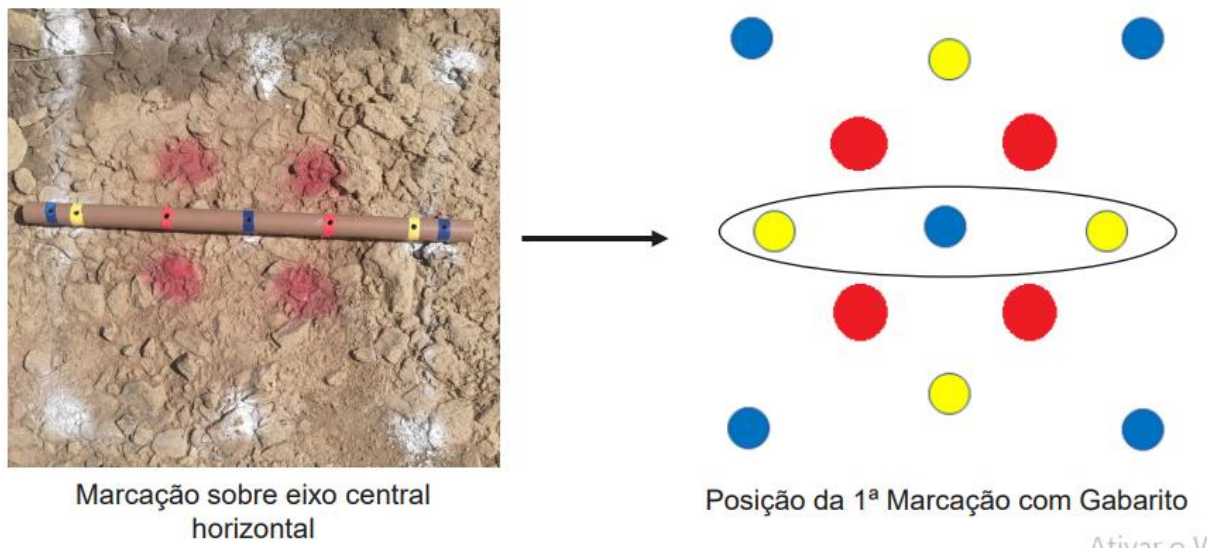


Fonte:

Primeiro passo: Marcação eixo central horizontal, superior horizontal e inferior horizontal.

A Figura 20 mostra a posição do gabarito no primeiro passo (eixo central horizontal). O mesmo se seguirá para as marcações do eixo superior horizontal e eixo inferior horizontal.

Figura 20 - Primeiro passo



Fonte: Arquivo Interno FBDM

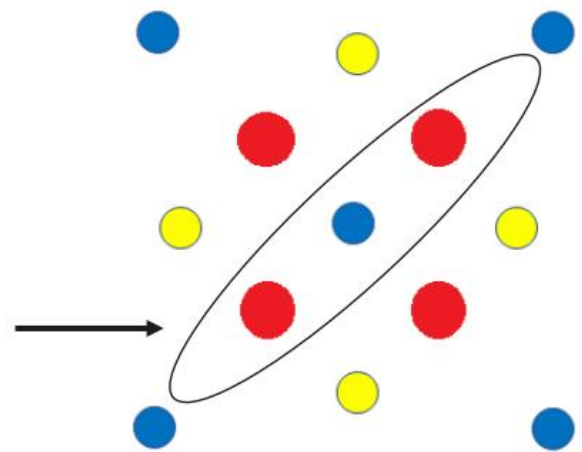
Segundo passo: Marcação da diagonal direita e diagonal esquerda;

A Figura 21 ilustra o a posição do gabarito para a marcação da diagonal direita. O mesmo será realizado na diagonal esquerda.

Figura 21 - Segundo passo



Marcação sobre diagonal da direita



Posição da 4ª Marcação com Gabarito

Fonte: Arquivo Interno FBDM

Após o treinamento, acompanhamento e conferência de marcação em campo foram efetuadas. Os colaboradores com erros de marcação ou dúvidas, receberam novas instruções.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a marcação do pilão efetuada, parte-se para a contagem do tempo de perfuração com cada diâmetro de broca, tendo como resultados:

### 6.1 Tempo de Ciclo

A Tabela 3 indica o tempo de perfuração dos furos de contorno, todos executados com 51 mm.

Tabela 3 - Tempo de ciclo

Ø (mm)	FUROS DE CONTORNO	TEMPOS DE PERFURAÇÃO					TEMPO MÉDIO
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
51,0	<b>1</b>	00:03:54	00:03:19	00:02:47	00:03:20	00:02:56	00:03:15
51,0	<b>2</b>	00:03:43	00:03:18	00:02:45	00:02:58	00:03:02	00:03:09
51,0	<b>3</b>	00:03:37	00:03:15	00:02:50	00:03:00	00:02:40	00:03:04
51,0	<b>4</b>	00:03:40	00:03:00	00:03:00	00:03:08	00:02:55	00:03:09
51,0	<b>5</b>	00:03:38	00:02:40	00:02:48	00:03:12	00:02:58	00:03:03
51,0	<b>6</b>	00:03:47	00:02:43	00:03:12	00:03:06	00:02:52	00:03:08
51,0	<b>7</b>	00:03:40	00:02:56	00:03:27	00:03:03	00:02:44	00:03:10
51,0	<b>8</b>	00:03:42	00:02:54	00:03:25	00:03:06	00:02:54	00:03:12
51,0	<b>9</b>	00:03:40	00:02:57	00:03:08	00:03:19	00:02:57	00:03:12
51,0	<b>10</b>	00:03:47	00:03:06	00:03:23	00:03:09	00:03:08	00:03:19
51,0	<b>11</b>	00:03:45	00:02:45	00:03:08	00:03:07	00:03:00	00:03:09
51,0	<b>12</b>	00:03:51	00:03:01	00:02:50	00:03:08	00:02:42	00:03:06
51,0	<b>13</b>	00:03:32	00:02:55	00:02:10	00:03:10	00:02:58	00:02:57
51,0	<b>14</b>	00:03:46	00:02:59	00:02:34	00:03:18	00:02:38	00:03:03
51,0	<b>15</b>	00:04:20	00:02:56	00:02:37	00:02:54	00:03:03	00:03:10
51,0	<b>16</b>	00:04:00	00:03:16	00:02:39	00:03:16	00:02:51	00:03:12
51,0	<b>17</b>	00:03:29	00:03:00	00:02:46	00:03:18	00:03:03	00:03:07
51,0	<b>18</b>	00:03:52	00:02:58	00:03:02	00:03:04	00:02:52	00:03:10
51,0	<b>19</b>	00:03:38	00:02:43	00:03:00	00:03:01	00:02:40	00:03:00
51,0	<b>20</b>	00:03:49	00:03:01	00:02:58	00:03:20	00:02:47	00:03:11
51,0	<b>21</b>	00:03:52	00:02:58	00:02:52	00:03:04	00:02:50	00:03:07
<b>Tmédio Total =</b>						<b>00:03:08</b>	

Fonte: Arquivo Interno FBDM

A Tabela 4 traz o tratamento estatístico, validando a confiabilidade do estudo, de acordo com o número de amostras.

Tabela 4 - Tratamento Estatístico

**TRATAMENTO ESTATISTICO**

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot 0,25}{E^2}$$

Grau de Confiança	$\alpha$	Valor Critico $Z_{\alpha/2}$
90%	0,1	1,645
95%	0,05	1,96
99%	0,01	2,575

Confiabilidade= **90%**

Erro admissivel= **10%**

T de student= **1,65**

Numero minimo de amostra= **68**

Amostras realizadas= **105** 

Ativar o Wi  
Acesse Configu

Fonte: Arquivo Interno FBDM

Dessa forma, tem-se como resultado final, a duração total da perfuração efetuada, em sua totalidade com a broca de 51 mm, como descrito na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados de perfuração

**DADOS DE PERFURAÇÃO 51 mm**

Metragem do furo=	3,8	m	
Metragem total=	228	m	
Metragem 51 mm=	209	m	
Metragem 102 mm=	19	m	
Tempo médio 51 mm=	3,14	min	
Tempo médio 102 mm=	4,82	min	
Taxa de penetração 51 mm=	1,21	m/min	
Taxa de penetração 102 mm=	0,79	m/min	
Tempo total de perfuração=	196,7	min	ou 03:16:42

Fonte: Arquivo Interno FBDM

A Tabela 6 indica o tempo de perfuração dos furos de intermediários e os furos do pilão, todos executados com 45 mm.

Tabela 6 - Tempos de perfuração

$\emptyset$ (mm)	FUROS INTERMEDIÁRIO	TEMPOS DE PERFURAÇÃO					TEMPO MÉDIO
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
45,0	22	00:03:02	00:02:32	00:02:22	00:02:32	00:03:00	00:02:42
45,0	23	00:03:06	00:02:26	00:02:28	00:02:25	00:02:24	00:02:34
45,0	24	00:03:16	00:02:21	00:02:23	00:02:28	00:02:28	00:02:35
45,0	25	00:03:04	00:02:33	00:02:15	00:02:36	00:02:20	00:02:34
45,0	26	00:03:04	00:02:15	00:02:18	00:02:38	00:02:17	00:02:30
45,0	27	00:03:15	00:02:30	00:02:25	00:02:36	00:02:32	00:02:40
45,0	28	00:03:07	00:02:19	00:02:35	00:02:21	00:02:30	00:02:34
45,0	29	00:03:30	00:02:07	00:02:06	00:02:27	00:02:07	00:02:27
45,0	30	00:03:27	00:02:18	00:02:11	00:02:31	00:02:10	00:02:31
45,0	31	00:03:10	00:02:23	00:02:20	00:02:38	00:02:23	00:02:35
45,0	32	00:03:00	00:02:19	00:02:08	00:02:40	00:02:30	00:02:31
45,0	33	00:03:50	00:02:26	00:02:10	00:02:48	00:02:05	00:02:40
45,0	34	00:03:08	00:02:28	00:02:21	00:02:39	00:02:22	00:02:36
45,0	35	00:03:12	00:02:10	00:02:16	00:02:25	00:02:28	00:02:30
45,0	36	00:03:01	00:02:27	00:02:06	00:02:43	00:02:47	00:02:37
45,0	37	00:03:08	00:02:20	00:02:18	00:02:35	00:01:56	00:02:27
45,0	38	00:03:19	00:02:28	00:02:07	00:02:40	00:02:22	00:02:35
45,0	39	00:03:17	00:02:10	00:02:23	00:02:38	00:02:01	00:02:30
45,0	40	00:03:14	00:02:12	00:02:04	00:02:40	00:02:05	00:02:27
45,0	41	00:03:06	00:02:18	00:02:17	00:02:36	00:02:09	00:02:29
45,0	42	00:03:07	00:02:29	00:01:57	00:02:29	00:02:12	00:02:27
<b>Tmédio Total =</b>							<b>00:02:33</b>

$\emptyset$ (mm)	FUROS DO PILÃO	TEMPOS DE PERFURAÇÃO					TEMPO MÉDIO
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
45,0	43	00:03:11	00:02:08	00:02:22	00:02:32	00:02:38	00:02:34
45,0	44	00:03:15	00:02:25	00:02:20	00:02:27	00:02:30	00:02:35
45,0	45	00:03:00	00:02:46	00:02:20	00:02:23	00:02:37	00:02:37
45,0	46	00:03:35	00:02:43	00:02:07	00:02:26	00:01:55	00:02:33
45,0	47	00:03:08	00:02:23	00:02:16	00:02:26	00:02:28	00:02:32
45,0	48	00:03:30	00:02:20	00:02:14	00:02:22	00:02:33	00:02:36
45,0	49	00:03:27	00:02:27	00:02:27	00:02:30	00:02:32	00:02:41
45,0	50	00:03:22	00:02:23	00:02:21	00:02:36	00:02:02	00:02:33
45,0	51	00:02:50	00:02:20	00:02:26	00:02:40	00:02:15	00:02:30
45,0	52	00:03:20	00:02:16	00:02:02	00:02:25	00:02:03	00:02:25
45,0	53	00:03:00	00:02:38	00:02:18	00:02:34	00:02:22	00:02:34
45,0	54	00:02:57	00:02:33	00:02:22	00:02:21	00:02:17	00:02:30
45,0	55	00:03:02	00:02:48	00:02:15	00:02:25	00:02:00	00:02:30
<b>Tmédio Total =</b>							<b>00:02:33</b>

Fonte: Arquivo Interno FBDM

É validado o cálculo do tempo de perfuração com a broca de 45 mm através do tratamento estatístico apresentado na Tabela 7, de acordo com o número de amostras.

Tabela 7 - Tratamento estatístico

**TRATAMENTO ESTATISTICO**

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot 0,25}{E^2}$$

Grau de Confiança	$\alpha$	Valor Critico $Z_{\alpha/2}$
90%	0,1	1,645
95%	0,05	1,96
99%	0,01	2,575
<b>Confiabilidade=</b>	<b>95%</b>	
<b>Erro admissivel=</b>	<b>10%</b>	
<b>T de student=</b>	<b>1,96</b>	
<b>Numero minimo de amostra=</b>	<b>96</b>	
<b>Amostras realizadas=</b>	<b>170</b> <input checked="" type="checkbox"/>	

Ativar  
Acesso

Fonte: Arquivo Interno FBDM

A duração total da perfuração com o bit de 45 mm é descrita na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados de perfuração 45mm

**DADOS DE PERFURAÇÃO 45 mm**

<b>Metragem do furo=</b>	<b>3,8</b>	<b>m</b>		
<b>Metragem total=</b>	<b>228</b>	<b>m</b>		
<b>Metragem 45 mm=</b>	<b>110,2</b>	<b>m</b>		
<b>Metragem 51 mm=</b>	<b>98,8</b>	<b>m</b>		
<b>Metragem 102 mm=</b>	<b>19</b>	<b>m</b>		
<b>Tempo médio 45 mm=</b>	<b>2,55</b>	<b>min</b>		
<b>Tempo médio 51 mm=</b>	<b>3,14</b>	<b>min</b>		
<b>Tempo médio 102 mm=</b>	<b>4,82</b>	<b>min</b>		
<b>Taxa de penetração 45 mm=</b>	<b>1,49</b>	<b>m/min</b>		
<b>Taxa de penetração 51 mm=</b>	<b>1,21</b>	<b>m/min</b>		
<b>Taxa de penetração 102 mm=</b>	<b>0,79</b>	<b>m/min</b>		
<b>Tempo total de perfuração=</b>	<b>179,6</b>	<b>min</b>	<b>ou</b>	<b>02:59:36</b>

Fonte: Arquivo Interno FBDM

Os tempos das demais atividades que fazem parte do ciclo operacional foram coletados com os operadores, tomando como base sua experiência na função, com a finalidade de estimar o tempo de ciclo total. Não podendo ser considerado um tempo representativo. Na Tabela 9, tem-se os cálculos de ganhos com a adoção das brocas de 45 mm, corroborando o estudo em questão.



Tabela 9 - Tempo de ciclo

**TEMPO DE CICLO**

$$T_c = T_{perf} + T_{car} + T_{limp} + T_{sc} + T_{rasp} + T_{mar}^*$$

\* tempo gasto para saneamento manual e marcação.

Os dados nos mostram um ganho de **9%** no tempo de perfuração que compõe o ciclo.

<b>51 mm</b>		<b>45 mm</b>	
Tempo perf.=	<b>196,7</b>	Tempo perf.=	<b>179,6</b>
Tempo car.=	80	Tempo car.=	80
Tempo de limp.=	80	Tempo de limp.=	80
Tempo sc.=	150	Tempo sc.=	150
Tempo rasp.=	25	Tempo rasp.=	25
Tempo de mar.=	80	Tempo de mar.=	80

**Tempo de ciclo 51 mm= 611,7** ou **10,20 h**  
**Tempo de ciclo 45 mm= 594,6** ou **9,91 h**

Fonte: Arquivo Interno FBDM

A Tabela 10 ilustra o ciclo produtivo da mina – Metragem incorporada no desenvolvimento mensal.

Tabela 10 - Velocidade de avanço

**VELOCIDADE DE AVANÇO**

$$V_{avanço} = \frac{\text{rendimento de fogo} \times \text{comprimento do furo}}{\text{tempo de ciclo}}$$

Vavanço 51 mm= 0,33 m avanço/h

Vavanço 45 mm= 0,34 m avanço/h

**Ganho (%)= 3%**

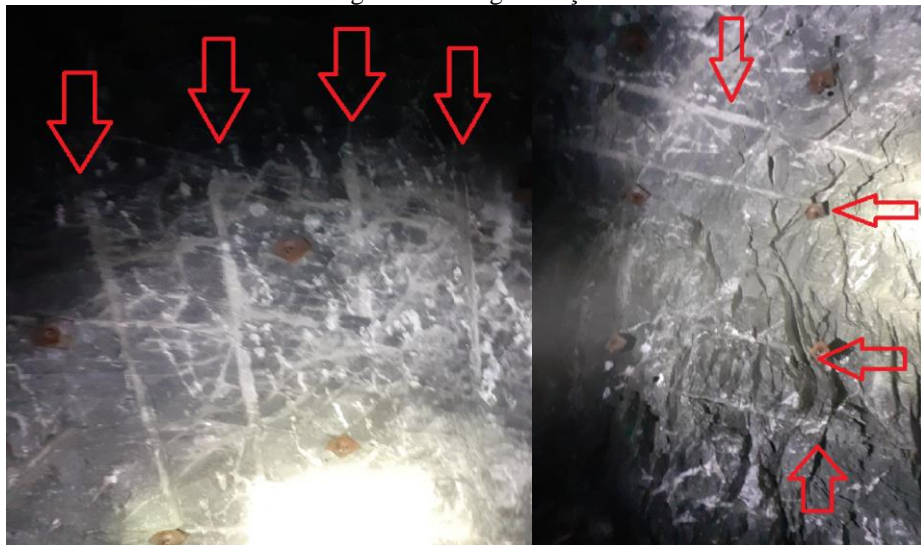
O ganho obtido de **3%** no desenvolvimento mensal de **590** m/mês representa um acréscimo de **17** metros, possibilitando avanços mensais de **607** metros.

Fonte: Arquivo Interno FBDM

## 6.2 Fragmentação

Após o desmonte efetuado, novamente voltou-se a campo com a finalidade de se obter informações visuais da qualidade do fogo e seus efeitos nas galerias. Notou-se a presença de meia cana nas laterais e no teto, reflexo da diminuição dos danos ao maciço remanescente e menor presença de choccos, como ilustra a Figura 22.

Figura 22 - Fragmentação



Fonte: Arquivo Interno FBDM

Já no material desmontado, verificou-se boa fragmentação do maciço, como é mostrado na Figura 24.

Figura 23 - Fragmentação



Fonte: Arquivo Interno FBDM

### 6.3 Financeiro

Houve redução no consumo específico de explosivos, alcançando uma redução de consumo específico de 10,1 quilogramas de explosivos por metro avançado. Com a metragem programada para o mês estudado de 590 m, chegou-se à economia de 5.980,2 quilogramas de explosivos mensal. Levando em consideração o valor do explosivo de R\$2,64, a economia mensal foi de R\$15.787,80, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 11 - Financeiro

#### **Perfuração 51 mm:**

Desenvolvimento mensal=	590 m
Densidade do bombeado=	1,1 g/cm <sup>3</sup>
Diâmetro do furo=	51 mm
Volume do furo =	2041,8 cm <sup>3</sup>
Razão linear de carga=	2,25 Kg/m
Perfuração efetiva=	3,8 m
Numero total de furos=	35
Metragem perfurada=	133 m
Metragem tampão=	45 m
Metragem carregada=	88 m
Consumo programado=	197,6 Kg
Rendimento de fogo=	88%

#### **Perfuração 45 mm:**

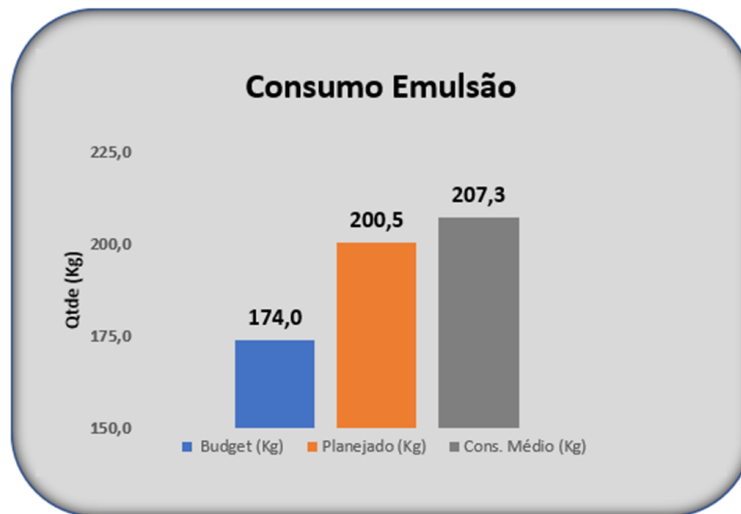
Desenvolvimento mensal=	590 m
Densidade do bombeado=	1,1 g/cm <sup>3</sup>
Diâmetro do furo=	45 mm
Volume do furo =	1589,6 cm <sup>3</sup>
Razão linear de carga=	1,75 Kg/m
Perfuração efetiva=	3,8 m
Numero total de furos=	35
Metragem perfurada=	133 m
Metragem tampão=	45 m
Metragem carregada=	88 m
Consumo programado=	153,9 Kg
Rendimento de fogo=	88%

<b>Redução no consumo específico=</b>	<b>10,1 kg/m Avanço</b>
<b>Metragem mensal programada=</b>	<b>590 m</b>
<b>Economia de explosivos=</b>	<b>5.980,2 Kg/mês</b>
<b>Preço do explosivo R\$ =</b>	<b>2,64</b>
<b>Save mensal no consumo específico R\$</b>	<b>15.787,8</b>

Fonte: Arquivo Interno FBDM

Estratificando essa economia, vê-se na Tabela 12 que a redução do consumo de emulsão foi significativa com a implantação do trabalho apresentado.

Tabela 12 - Consumo Emulsão



Obs.:

Budget x Planejamento 13%

Budget x Consumo Médio 16%

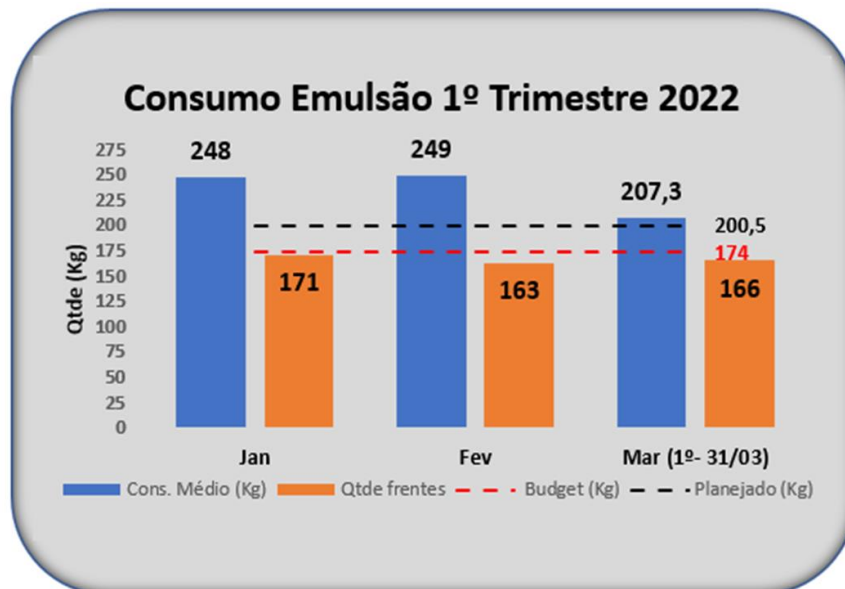
Planejado x Consumo Médio 3%

Planejamento	Emulsão (Kg)	Massa (t)	Cons.Espec. (Kg/t)
Budget (Kg)	174,0	218,4	0,80
Planejado (Kg)	200,5	218,4	0,92
Média real aplicada	207,3	218,4	0,95

Fonte: Arquivo Interno FBDM

Quando comparado o mês de março 2022 com a média de consumo dos meses anteriores, identifica-se uma redução de 41,0 Kg, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Consumo Emulsão 1o. Trimestre 2022

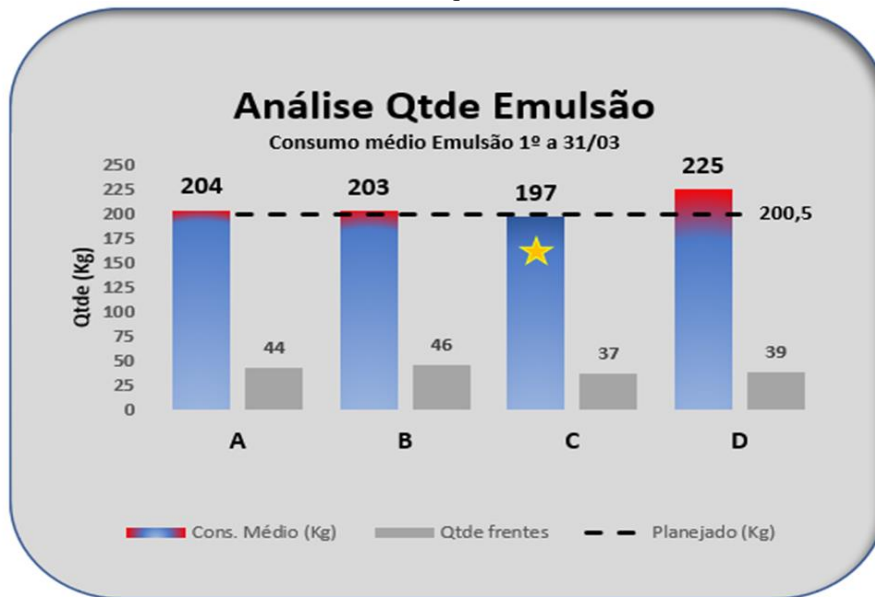


Fonte: Arquivo Interno FBDM

De modo geral, reduziu-se 01 furo alargado 100mm (Pilão) e na região dos furos ajudantes, houve redução do diâmetro de perfuração de 19 furos, p/ 45mm, conseqüentemente, diminuiu o consumo de emulsão Kg por frente. No avanço, alcançou-se a marca de 3,6m que

corresponde a (92,5%). Os gráficos acima mostram que há possibilidade de melhorar o controle na aplicação, reduzindo o consumo em quilograma (Kg), como apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de quantidade de emulsão



Fonte: Arquivo Interno FBDM

## 7. CONCLUSÕES

A prática adotada no estudo apresentado mostra significativa economia de tempo e recurso financeiro, já que o tempo de perfuração com 45 mm está validado para o estudo. Os demais tempos que compõem o ciclo foram coletados diretamente com os operadores apenas a fim de determinar uma estimativa para tempo de ciclo, não é um tempo representativo. Para uma análise mais detalhada, sugere-se coletar com mais precisão, através de crono análise, o tempo de cada etapa do ciclo operacional.

Quanto à economia de emulsão, o estudo valida a prerrogativa inicial do estudo, pois com menor diâmetro e mesma profundidade do furo, o volume ocupado se torna menor ( $v_0 = 2041 \text{ cm}^3$ ,  $v_f = 1589,6 \text{ cm}^3$ ). Financeiramente falando, uma economia mensal de aproximadamente R\$15000,00.

Com a redução do tempo de perfuração, a busca, nessa etapa do ciclo, é pela correta perfuração, aderindo a execução ao plano de fogo projetado. Para tal, há a necessidade de boas condições do equipamento (confiabilidade e disponibilidade física do mesmo) e ferramental (haste, punhos, luvas e bits). A atuação da supervisão de área, quanto à qualidade da limpeza, marcação e perfuração deve ser constante e de total atenção.

Ao passo que as condições do equipamento atendam às necessidades da operação, a interface operação-manutenção se mostra de extrema importância para que tal objetivo seja alcançado. Para a perfuração, o paralelismo dos braços do automóvel das perfuratrizes deve estar em perfeito funcionamento (parte hidráulica).

Um bom entendimento da prática das atividades que precedem a perfuração implica em boas condições de liberação da frente de perfuração por parte dos supervisores. A liberação de frente para o carregamento (pós perfuração) só pode ser realizada após completa inspeção, também conduzida pelo supervisor. Assim, evita-se que fogos sejam realizados de forma equivocada, provocando desperdício de materiais e retrabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. P. Automação como processo disruptivo na perfuração de rochas em minas a céu aberto: desafios e ganhos reais. 2022. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/15670/1/DISSERTAÇÃO\\_AutomaçãooProcesoDisruptivo.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/15670/1/DISSERTAÇÃO_AutomaçãooProcesoDisruptivo.pdf)>. Acesso em: 04 ago. 2023.
- ANDRADE, K. H. Estudo de caso da substituição do método de lavra de *Sublevel Stopping* para *Cut and Fill* em *Narrow Veins*. 2019. Monografia (Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <<https://demin.ufmg.br/downloadtcc.php?f=87>>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- CAVALCANTI, U. O. H. Avaliação do desempenho dos equipamentos de perfuração vertical na mina subterrânea de Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.
- FERRAZ, P. S. Análise de *overbreak/underbreak* e de rendimento de desmonte em desenvolvimento de mina subterrânea. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <[https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5482/6/MONOGRAFIA\\_AnáliseOverbreakUnderbreak.pdf](https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5482/6/MONOGRAFIA_AnáliseOverbreakUnderbreak.pdf)>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- LIMA, V. B. O. Aplicação do método NATM na execução de túnel em rocha. 2016. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016902.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2023.
- MELLO, D. S. Avaliação do ciclo operacional do desenvolvimento na mina subterrânea de Fazenda Brasileiro Desenvolvimento Mineral. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/664606446/TCC-Final#>>. Acesso em: 17 jul. 2023.
- PORTAL DE NOTÍCIAS ESTADO DA BAHIA. Projeto Contos Brasileiros resgata cultura e história do município de Barrocas: Mineradora Equinox Gold patrocina processo de pesquisa e produção de livro audiovisual, que reunirá as memórias da cidade baiana, além de oficinas educativas para a comunidade. *In*: PORTAL DE NOTÍCIAS ESTADO DA BAHIA. Portal de Notícias Estado da Bahia. Bahia, 2022. Disponível em: <<https://www.estadodabahia.com.br/noticia/19428/projeto-contos-brasileiros-resgata-cultura-e-historia-do-municipio-de-barrocas>>. Acesso em: 17 fev. 2023.
- SANTOS, P. V. T. Análise da influência do procedimento de revezamento e afiação de bits na vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4270/8/MONOGRAFIA\\_AnáliseInfluênciaAfiação.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4270/8/MONOGRAFIA_AnáliseInfluênciaAfiação.pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2023.

SANTOS, T. F. Análise do *overbreak* e *underbreak* das escavações das galerias da mina subterrânea Fazenda Brasileiro. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/664606446/TCC-Final>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SIMINERAL. História da Mineração. *In*: SIMINERAL. SIMINERAL: Sindicato das indústrias minerais no estado do Pará. Pará, 2022. Disponível em: <https://simineral.org.br/mineracao/historia#:~:text=O%20termo%20minera%C3%A7%C3%A3o%20no%20entanto,altos%20e%20o%20retorno%20garantido>. Acesso em: 17 fev. 2023.