



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



COMPARAÇÃO E VIABILIDADE DE MÉTODOS
DE DESMONTE EM LAVRA SUBTERRÂNEA
EMPREGADOS EM UMA CARBONÍFERA

PAULO RICARDO ROMERO FERNANDES

Trabalho de Conclusão de Curso

Ouro Preto/MG

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO
OURO PRETO – MINAS GERAIS – BRASIL



COMPARAÇÃO E VIABILIDADE DE MÉTODOS
DE DESMONTE EM LAVRA SUBTERRÂNEA
EMPREGADOS EM UMA CARBONÍFERA

Autor: PAULO RICARDO ROMERO FERNANDES

Orientador: Prof. Dr. FELIPE RIBEIRO SOUZA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia de Minas da Universidade
Federal de Ouro Preto, como parte
integrante dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Minas

Ouro Preto/MG

2023



FOLHA DE APROVAÇÃO

Paulo Ricardo Romero Fernandes

subterrânea empregados em uma carbonífera

Comparação e viabilidade de métodos de desmonte em Lavra

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 21 de março de 2023

Membros da banca

DR- Felipe Ribeiro Souza - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto
Eng - Bernardo Lima e Silva
Eng.- Túlio de Assis Santos e Santiago

Felipe Ribeiro Souza, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Ribeiro Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/03/2023, às 13:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0494637** e o código CRC **268F1DA1**.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e minha mãe que sempre me apoiaram em todas minhas escolhas;

A meu irmão por ser meu melhor amigo e me dar forças para continuar mesmo quando as coisas estão complicadas;

A Ana Clara, pelo amor, companheirismo, paciência e carinho, sempre me dando forças para continuar em frente;

Ao Professor Dr. Felipe Ribeiro Souza pela atenção, paciência e orientação;

A todos os professores da Escola de Minas, que fizeram parte da minha trajetória, em especial aos professores do DEMIN;

A Universidade Federal de Ouro Preto pelas oportunidades e ensino de qualidade;

A Republica Quinta Negra que foi e sempre será minha segunda casa;

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão do meu bacharelado.

RESUMO

Trata-se de um estudo comparativo entre métodos de lavra subterrânea empregados em uma carbonífera. Atualmente, a empresa emprega o método de câmaras e pilares com recuo de pilar.

O presente trabalho tem como objetivo comparar o desmonte mecânico, através do Minerador Contínuo, e o desmonte com explosivos.

Para realizar essa análise, foram utilizados os seguintes parâmetros: produtividade, custos, qualidade do ROM, estabilidade e, por fim, recuperação de lavra. O estudo visa expor os pontos positivos e negativos de cada técnica e demonstrar qual método é o mais adequado para a mina em questão.

Para realização do trabalho, foram utilizados dados representativos da empresa, assim como contribuições bibliográficas e conceitos pertinentes ao objetivo do estudo.

Os resultados obtidos com base no referencial teórico adotado indicam que o método mais adequado para a empresa é o desmonte mecânico, uma vez comprovado, por meio deste estudo, que o Minerador Contínuo proporciona uma maior produtividade com menos custos. Ademais, este oferece uma lavra seletiva, aumentando a qualidade do ROM e, por sua vez, da recuperação de lavra.

Outro fator vantajoso quanto ao desmonte mecânico é que este método de lavra não possui o fator desmonte, ou seja, o desmonte mecânico não gera impactos e vibrações significativos que possam afetar a estabilidade do pilar, contrariamente ao desmonte por explosivos.

ABSTRACT

This is a comparative study between mining methods employed in a coal mine. Currently, the company employs the chamber and pillar method with pillar setback.

The present work aims to compare the mechanical dismantling, through the Continuous Miner, and the dismantling with explosives.

To carry out this analysis, the following parameters were used: productivity, costs, ROM quality, stability and, finally, mine recovery. The study aims to expose the strengths and weaknesses of each technique and demonstrate which method is most suitable for the mine in question.

To carry out the work, representative data from the company were used, as well as bibliographical contributions and concepts relevant to the objective of the study.

The results obtained based on the theoretical framework adopted indicate that the most suitable method for the company is mechanical dismantling, once it has been controlled, through this study, that the Continuous Miner provides greater productivity with lower costs. In addition, it offers selective mining, increasing the quality of the ROM and, in turn, the recovery of mining. Another deviant factor regarding mechanical dismantling is that this mining method does not have the dismantling factor, that is, mechanical dismantling does not generate influences and emotions that can affect the stability of the pillar, contrary to dismantling using explosives.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Sedimentar do Paraná	5
Figura 2 – Mapa da Mina Subterrânea.....	8
Figura 3 – Cenários dos painéis GD(6X13), NW(7X9) e ED(7X7).....	9
Figura 4 – Equipamentos utilizados na mina subterrânea	10
Figura 5 – Minerador Contínuo (CM) e Explosivos utilizados na lavra.	11
Figura 6 – Fluxograma da Planta de Beneficiamento.....	12
Figura 7 – Área Recuperada no Pilar por Desmonte com Explosivos	21
Figura 8 - Área Recuperada no Pilar pelo Minerador Contínuo.....	21
Figura 9 – Bits Minerador Contínuo (esquerda) & e Bits Face Drill (direita).....	28
Figura 10 – Comparação entre o FS e Resistencia do Pilar pelos três Métodos.....	37
Figura 11 - Geometria do pilar recuperado pelo CM.....	38
Figura 12 - Geometria do pilar recuperado pelo desmonte com explosivos	38
Figura 13 - Mapas dos painéis	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros dos painéis utilizados para comparação dos métodos.....	9
Tabela 2 – Estimativa de Produção no Avanço de Lavra pelos dois Métodos para o painel GD.	23
Tabela 3 – Produção dos dois Métodos para Recuo.	24
Tabela 4 – Diferença na Quantidade de Colaboradores por Turno.....	26
Tabela 5 – Quantidade de insumos necessário para cada método.	27
Tabela 6 – Estimativa de Custos para o Painel GD pelos dois Métodos.	29
Tabela 7 – Exemplo de Material Analisado do Minerador Contínuo para Qualidade do ROM	31
Tabela 8 – Recuperação do Beneficiamento.....	32
Tabela 9 – Exemplos da empresa de fatores de segurança (FS) de pilares com desmonte por explosivo de acordo com a geometria do pilar.	34
Tabela 10 – Possíveis cenários para o painel GD operar com CM.....	35
Tabela 11 – Cálculo do FS e da Resistencia dos Pilares no Painel GD através do cenário 5...36	
Tabela 12 – Recuperação por pilar pelos dois métodos.....	41
Tabela 13 – Recuperação total dos pilares pelos dois métodos.	41
Tabela 14 – Cálculo da Reserva da Jazida do PI-08.	42
Tabela 15 – Parâmetros de cenários propostos para o painel GD.	43
Tabela 16 – Produção estimada para o painel GD.....	44
Tabela 17 – Custo do avanço de cada método.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Teoria das Áreas Tributárias	14
Equação 2 – Cálculo da Resistencia do Pilar por meio da Equação de Salomon-Munro (1967)	14
Equação 3 – Cálculo da Resistência do Pilar por meio da Equação da CIENTEC (Obert-Duvall, 1967).....	15
Equação 4 – Cálculo da Resistência do Pilar por meio da Equação da ARMPS (Bieniawski, 1984).....	15
Equação 5 – Cálculo da Resistencia Real do Pilar por meio da Equação da CIENTEC.....	15

LISTA DE ABREVIATURAS

ARMPS	Método de Cálculo de Resistência do Pilar
CM	Continuous Miner – Minerador Contínuo
CIENTEC	Método de Cálculo de Resistência do Pilar
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
FS	Fator de Segurança
PO	Pesquisa Operacional
RQD	Rock Quality Designation – Designação da Qualidade da Rocha
ROM	Run-of-Mine – Produto da Mina
SALAMON	Método de Cálculo de Resistência do Pilar

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
1.1.CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.....	2
1.2.OBJETIVO GERAL	3
1.3.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.GEOLOGIA DA MINA	5
2.2.PROCESSOS OPERACIONAIS DA LAVRA	6
2.3.DIMENSIONAMENTO DOS PILARES.....	12
3.METODOLOGIA.....	15
3.1.PRODUTIVIDADE	16
3.2.CUSTOS OPERACIONAIS	16
3.3.QUALIDADE DO ROM.....	17
3.4.ESTABILIDADE DAS GALERIAS	17
3.5.RECUPERAÇÃO DE LAVRA.....	18
3.6.ESTIMATIVA COMPARAÇÃO DE CUSTO E PRODUÇÃO PARA O PAINEL GD.	18
4.DISSCUSSÃO E RESULTADOS	18
4.1.GEOLOGIA DA MINA	19
4.2.PRODUTIVIDADE.....	20
4.2.1.Cálculo da área desmontada por pilar pelos dois métodos	21
4.2.2.Estimativa de produção a partir do cálculo indicado	23
4.3.CUSTOS OPERACIONAIS	25
4.4.QUALIDADE DO ROM.....	29
4.5.ESTABILIDADE DAS GALERIAS	33
4.6.RECUPERAÇÃO DE LAVRA	39
4.7.ESTIMATIVA E COMPARAÇÃO DE PRODUÇÃO E CUSTOS PARA O PAINEL GD.....	43
5.CONCLUSÃO.....	45
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

A mineração, juntamente com outras atividades tais como o extrativismo animal e vegetal, consiste na principal fonte de obtenção de recursos naturais. Podemos observar a relevância tanto no percurso histórico de desenvolvimento da humanidade, quanto nas potencialidades apresentadas em relação ao futuro. A mineração é a fonte da maioria dos bens de consumo e commodities, com a evolução da sociedade e a consequente modificação das demandas sociais. A atividade constantemente se adequa a crescente necessidade de matéria prima.

Devido ao aumento populacional, a atividade mineira perpassou por grande crescimento, a fim de suprir a demanda mundial, a qual exige alta produtividade, por meio da extração de grandes quantidades de bens minerais.

O fato de os bens minerais não consistirem em recursos renováveis, aliado ao surgimento de novas tecnologias, configuram uma realidade na qual exige-se cada vez mais da mineração a capacidade de explorar corpos de minérios com teores baixos, objetivando-se o aproveitamento máximo deste recurso. Ademais, também evidenciando o esforço para o emprego de técnicas que permitam a continuidade da extração de minério em larga escala; o crescimento de minas subterrâneas mostra-se como uma tendência para o futuro da mineração, uma vez que, como o passar dos anos, torna-se mais difícil encontrar corpos geológicos em que a lavra a céu aberto seja exequível.

O presente trabalho objetiva traçar um quadro comparativo entre métodos de lavra subterrânea atualmente empregados em uma carbonífera no Paraná, considerando o demonstrre mecânico com uso do Minerador Contínuo e o desmonte por explosivos. A análise visa relatar pontos positivos e negativos de cada técnica, bem como definir, com base nos parâmetros teóricos e práticos a serem apresentados, qual o método mostra-se como mais adequado para a lavra em questão.

É de suma importância destacar que todos os dados utilizados para a formulação do presente trabalho foram obtidos pelo intermédio da empresa que realiza a gestão da mina, com a autorização desta.

Importante considerar que a Mineradora em questão se encontra em processo de mudança do método de lavra, e por isso, visa definir qual a técnica mais adequada para a extração, de modo a aumentar a eficiência da lavra. Deste modo, os dados a serem apresentados mostram-se úteis para auxiliar na identificação do melhor método neste caso. Esse tipo de estudo já foi realizado em outras carboníferas do Brasil um exemplo delas é a carbonífera Rio Deserto que substituiu o desmonte por explosivos pelo desmonte mecânico, segundo o engenheiro da empresa "A sinergia entre as inovações da área da engenharia mecânica e elétrica resultou em soluções que contribuem no aumento da produtividade do equipamento alinhado a segurança e a facilidade de operação”(MOTA, 2020), essa frase diz respeito a mudança no método de lavra.

Para a definição do método de desmonte mais adequado no caso em questão, o presente trabalho traçou o seguinte percurso. Inicialmente, compondo os tópicos introdutórios, serão apresentadas as considerações preliminares sobre o local estudado, o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa. Em seguida, o segundo capítulo se dedicará a expor contribuições bibliográficas e conceitos pertinentes ao objeto de pesquisa. Posteriormente, será descrita a metodologia do trabalho, apresentando e explicando brevemente os critérios utilizados para a comparação. Por fim, serão descritos os resultados obtidos na comparação entre os dois métodos de desmonte, os quais indicam, com base no referencial teórico adotado e empregando-se os critérios descritos na metodologia, que, neste estudo de caso, o desmonte mecânico com uso do Minerador Contínuo é mais eficiente para a empresa que o método pelo uso de explosivos, conforme será detalhado no respectivo capítulo.

1.1. Considerações preliminares

A Carbonífera analisada iniciou suas operações no ano de 1942 e, desde o início das atividades, já empregou mais de dez mil pessoas. Hoje, a empresa conta com cerca de 300 colaboradores diretos, também impulsionando a geração de empregos indiretos no município, tendo em vista a contratação de serviços de terceiros para as atividades de apoio.

Como uma das consequências da importante atividade de mineração exercida pela empresa na região, na década de 1960, foi implantada a Usina Termelétrica de Figueira, hoje, de propriedade da COPEL e, recentemente, modernizada, a qual utiliza o carvão extraído da mineração para fornecer energia para própria Mina, bem como para a região como um todo.

Atualmente, a Mineradora desenvolve a sua lavra na Mina-08, dentro de seu parque industrial, onde estão localizadas suas instalações de beneficiamento de carvão mineral, como também toda sua infraestrutura de apoio.

1.2. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar de maneira comparativa dois métodos de desmonte empregados na mineração: por explosivo e mecânico. Para investigar quais são os critérios que devem ser considerados na escolha ou mudança do método de lavra. A partir desta análise, visa-se definir qual o método mais eficaz para a lavra do depósito estudado.

Os parâmetros a serem utilizados para a comparação entre os dois métodos, os quais serão devidamente explicados em capítulo posterior são:

- Produtividade;
- Custos Operacionais;
- Qualidade do ROM;
- Estabilidade das Galerias;
- Recuperação de Lavra.

1.3. Objetivos Específicos

Estando esclarecido o objetivo geral do presente Trabalho de Conclusão de Curso, faz-se necessário também elucidar os objetivos específicos, ou seja, as condições a serem apreciadas para compor a discussão traçada pelo objetivo geral, qual seja, a comparação entre os dois métodos de desmonte de lavra.

Para podermos alcançar o objetivo geral certas condições devem ser analisadas para cada parâmetro, sendo elas:

- Avaliar como a geologia da mina afeta nos métodos de desmonte mecânico e por explosivos;

- Estimar diferença de produção entre os dois métodos;
- Calcular a diferença de área recuperada, no recuo de pilares, pelos dois métodos;
- Estimar a diferença de custos entre os dois métodos;
- Analisar os dados da amostragem sobre a diferença na qualidade do ROM entre os dois métodos;
- Calcular o fator de segurança e resistência dos pilares de cada método.
- Analisar como a diferença de método de desmonte permite recuperações de lavra diferentes e qual a mais adequada;
- Fazer uma estimativa de produção e custos, de cada método de desmonte, para um novo painel de lavra.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Primeiramente, antes de esclarecer as questões particulares deste trabalho, consistentes na metodologia utilizada e nos resultados a serem verificados, é de suma importância discorrer, de maneira sucinta, acerca de considerações teóricas e bibliográficas pertinentes ao tema. As considerações iniciais a serem apresentadas mostram-se relevantes para contextualizar e embasar os resultados e conclusões a serem expostos ao longo do trabalho.

Desta maneira, no presente capítulo, de modo a compor as considerações bibliográficas, iniciaremos com uma breve descrição das conjunturas geológicas da região. Posteriormente, serão detalhados quais os processos operacionais de lavra utilizados no espaço amostral pesquisado. Em seguida, será apresentado o fluxograma da planta de beneficiamento para melhor visualização do tratamento do minério. Por fim, no que diz respeito a estabilidade das galerias, serão expostas e avaliadas metodologias relativas ao dimensionamento de pilares, as quais foram usadas como base para comparação dos métodos de desmonte analisados pelo presente trabalho.

2.1. Geologia da mina

A empresa carbonífera em questão, detentora das principais reservas de carvão do estado do Paraná, conforme anteriormente mencionado, é responsável pelo abastecimento de carvão para a unidade geradora de energia Termelétrica Figueira. Ademais, também fornece seus produtos para outros clientes do setor cerâmico e fertilizantes, inclusive fora do estado.

Quanto à geologia da mina de carvão em si, inicialmente, ressalta-se que esta encontra-se localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, a qual abrange o Segundo e o Terceiro Planalto Paranaense. (FIG.1)

Figura 1 - Localização da Bacia Sedimentar do Paraná



Fonte: Petri & Fúlfaro (1983)

Campaner (2005) descreve que o carvão lavrado pela empresa teve origem em uma planície formada na desembocadura de rios. Este é um carvão betuminoso, o qual possui alto

poder calorífico e é caracterizado como alto volátil. Além do mais, destaca-se que o elevado nível de restos de plantas que gerou este carvão tem como consequência um alto teor de ácido húmico na água em que o minério foi formado, o que ocasionou a transformação do ferro existente nos depósitos de carvão em pirita.

O alto teor de umidade do minério extraído faz com que este demande mais tempo para a secagem nos moinhos do pulverizador da empresa. Vale mencionar, a título de observação, que o teor de umidade pode variar a depender do tipo de carvão coletado, de modo que diferentes tipos de carvão possuem composições geoquímicas distintas, muitas vezes condicionadas pelo ambiente gerador.

2.2. Processos Operacionais da Lavra

De acordo com Curi (2017), a lavra corresponde a aplicação sistemática dos trabalhos necessários ao aproveitamento econômico da jazida.

O avanço de lavra, por sua vez, consiste na determinação da face do corpo geológico em que serão aplicados a perfuração, o desmonte, o carregamento e transporte, trabalhos que constituem o processo.

O desmonte, tipo de trabalho relacionado a temática central da discussão a ser realizada, conforme anteriormente mencionado, pode ser procedido de duas maneiras, quais sejam, pela utilização de explosivos ou por métodos mecânicos.

Iniciando-se pelo desmonte mecânico, este consiste na retirada do minério por meio de diversos métodos que se caracterizam pela aplicação de uma força mecânica no maciço rochoso. Este tipo de desmonte pode ser procedido pelo uso de equipamentos como escavadeira, bucket wheel, Minerador Contínuo, etc; os quais serão escolhidos a depender do tipo de minério. Ademais, esclarece-se que o desmonte mecânico só pode ser utilizado quando a rocha é suficientemente friável, para que possa ser retirada de maneira eficiente.

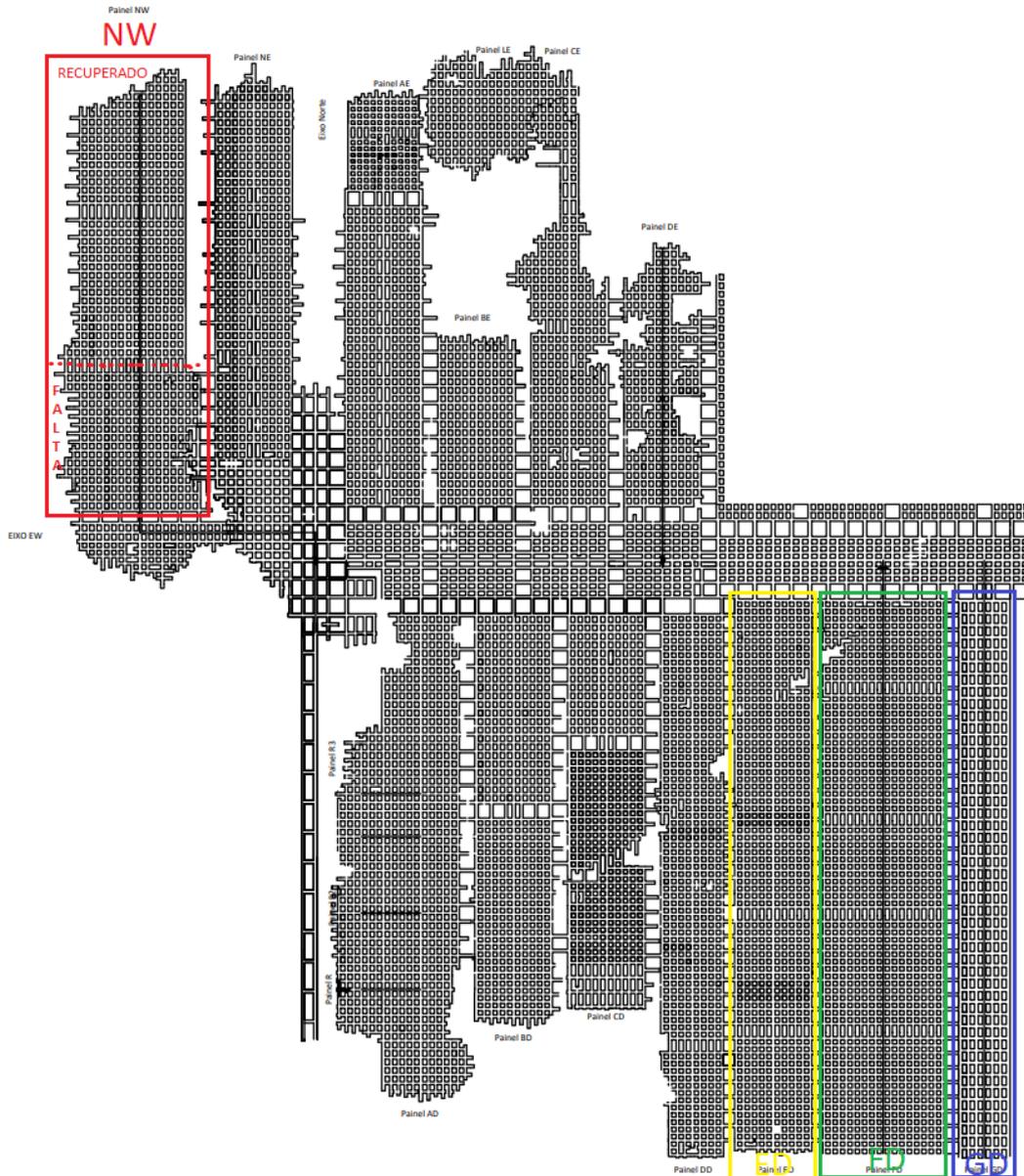
O desmonte por explosivos é empregado quando a rocha é mais dura, não permitindo o desmonte mecânico. Deste modo, nestes casos, é feito uma série de operações para desmontar o corpo geológico. A primeira delas é a perfuração, que consiste na criação de furos que possibilitem a disposição de explosivos; em seguida, no carregamento, os explosivos são

distribuídos nos furos criados; e, por fim, no desmonte, estes são acionados para fragmentar a rocha.

Havendo sido esclarecidas as diferenças entre os dois métodos, ressalta-se que a técnica empregada atualmente na empresa cujos dados foram analisados é o de câmara e pilares, o qual, de maneira sucinta, consiste no desmonte com explosivos, seguido pelo recuo de pilares, feito por meio de desmonte mecânico com um Minerador Contínuo (CM). Faz-se necessário destacar que a empresa deseja alterar parcialmente o procedimento, de modo a utilizar o desmonte mecânico com CM também para o avanço de lavra. O método de câmaras e pilares é descrito por Curi (2017) como autossuportado, no qual somente parte da área mineralizada é lavrada e, assim, as outras porções do corpo geológico permanecem para sustentação dos terrenos sobrejacentes. Neste método, o minério é escavado mediante a abertura de espaços subterrâneos, denominados câmaras, e os pilares são deixados para suportar o teto e as paredes.

De acordo com Weiss et.al (2017), o recuo de pilares é uma operação de recuperação parcial ou total de pilares, ou seja, depois que o método de câmaras e pilares já foi concluído, acontece a lavra dos pilares de sustentação. Quando existem boas condições de estabilidade, consegue-se recuperar mais pilares, de maneira que os mesmos possam ser lavrados parcialmente ou totalmente.

Figura 2 – Mapa da Mina Subterrânea



Fonte: Contribuição da Empresa e do Autor.

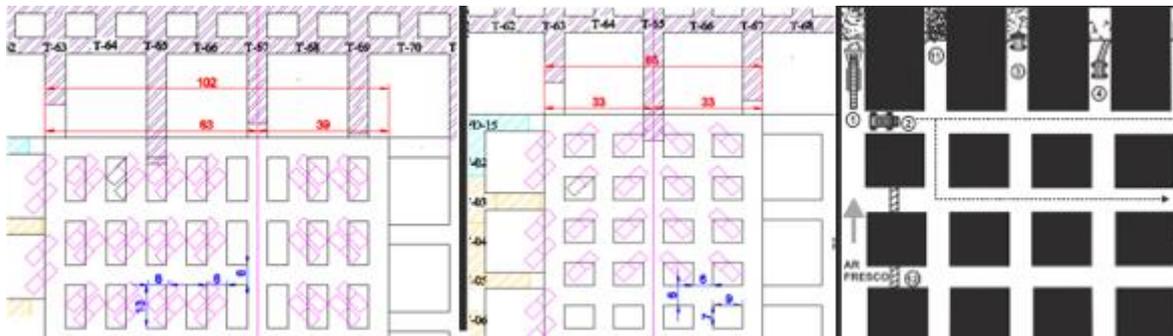
O mapa mostra os painéis selecionados para fazer a comparação entre os dois métodos de desmorte citados (FIG.2). Atualmente, a empresa trabalha com o avanço da lavra com o método de desmorte por explosivos no setor FD (verde); e, desde 01/05/2022, há a aplicação do recuo de pilares por meio do desmorte mecânico com Minerador Contínuo no setor NW (vermelho). Além do mais, a mineradora está abrindo um novo painel para avanço de lavra no setor GD, onde o Minerador Contínuo (azul) irá operar como avanço de lavra. Por fim, elucidase que a última recuperação de pilar pelo método de desmorte com explosivos foi realizada no painel ED (amarelo) no período de 02/01/2020 a 20/02/2020.

Tabela 1 – Parâmetros dos painéis utilizados para comparação dos métodos

	GD(CM)	GD(EXPLOSIVO)	NW RECUO	ED RECUO
PILAR	6X13 m	6X13 m	7x9 m	7x7 m
ALTURA	1,0 ou 1,2 m	1,3 m	0,8 m	1,3 m
ÁREA TOTAL LAVRADA	64896 m ²	64896 m ²	8239,05 m ²	6536 m ²

Fonte: Contribuição da Empresa e do Autor.

Figura 3 – Cenários dos painéis GD(6X13), NW(7X9) e ED(7X7)



Fonte: Contribuição da Empresa e do Autor.

A tabela apontada demonstra os parâmetros utilizados para a realização do estudo comparativo entre os dois métodos de desmonte. Assim, foram usados os painéis NW e ED para comparar as duas técnicas em recuo de pilares. No avanço de lavra, foi utilizado o painel GD, que ainda irá entrar em operação, para fazer uma estimativa de comparação entre os métodos de desmonte mecânico e por explosivos. Ademais, a TAB.1 mostra parâmetros operacionais pelos dois métodos nos painéis sendo eles: geometria do pilar e área a ser lavrada.

O ciclo convencional de lavra, citando Curi (2017), é composto de três operações unitárias básicas:

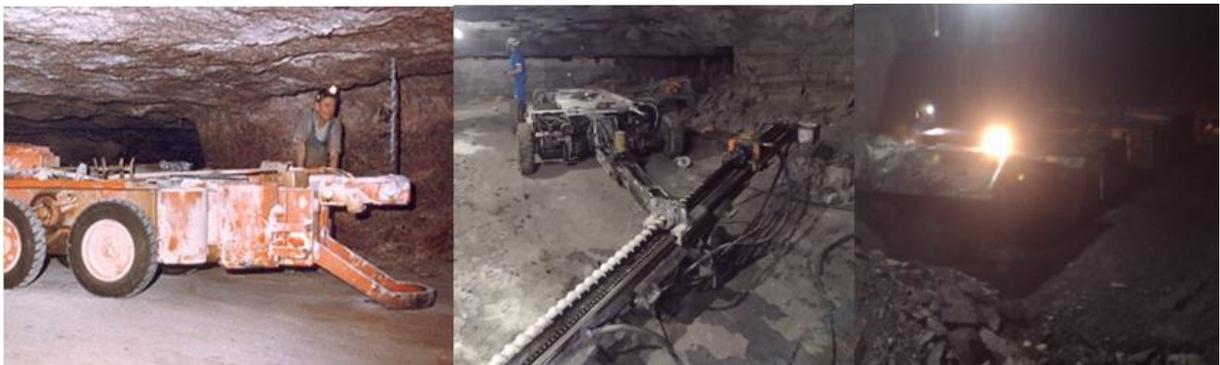
- Desmonte do minério;
- Carregamento do minério e limpeza das frentes de lavra para a retirada do estéril residual;
- Transporte horizontal (do material desmontado) em subsolo e vertical do subsolo a superfície.

Para poder realizar esse ciclo, são necessárias operações auxiliares, entre elas a sustentação e o controle das deformações do maciço. Para estes processos são empregados o escoramento do teto e a limpeza e abatimento de choccos.

No avanço do setor FD, onde ocorre o desmonte por explosivos, diversos colaboradores realizam atividades como a perfuração (utilizando a máquina *face drill*), escoramento do teto (utilizando a máquina *roof bolder*), transporte do minério (utilizando a máquina *scoop*) para a bica que leva a correia transportadora que direciona o minério para a usina de beneficiamento. Além do mais, destaca-se o exercício de outras atividades, desempenhadas por colaboradores exercendo as funções de eletromecânicos, supervisor de turno e multiblasters.

Quanto ao procedimento operacional descrito, este inicia-se com a utilização da máquina *face drill*, a qual serve para realizar a perfuração da rocha onde posteriormente será colocado os explosivos pelos multiblasters. A *roof bolder*, por sua vez, perfura a rocha e coloca os tirantes responsáveis por atribuir maior estabilidade às paredes e ao teto da mina. Já as *scoops* fazem o transporte do minério desmontado para a correia transportadora, que o leva a planta de beneficiamento.

Figura 4 – Equipamentos utilizados na mina subterrânea



Fonte: Contribuição do Autor.

Roof Bolder (esquerda), Face Drill (meio), Scoop (direita) (FIG.3).

Para o recuo de pilares no setor NW os operadores trabalham com o desmonte mecânico (utilizando a máquina Minerador Contínuo) e o transporte do minério (por meio do scoop). Ademais, o profissional que desempenha a função de eletromecânico é responsável pela manutenção das máquinas descritas.

No que se refere ao Minerador Contínuo, utilizado no recuo de pilar, este consiste em um equipamento de desmonte mecânico que escava o maciço rochoso e posiciona a rocha desmontada diretamente na pá da scoop, excluindo a necessidade do uso do face drill e da função de multiblaster.

Figura 5 – Minerador Contínuo (CM) e Explosivos utilizados na lavra.



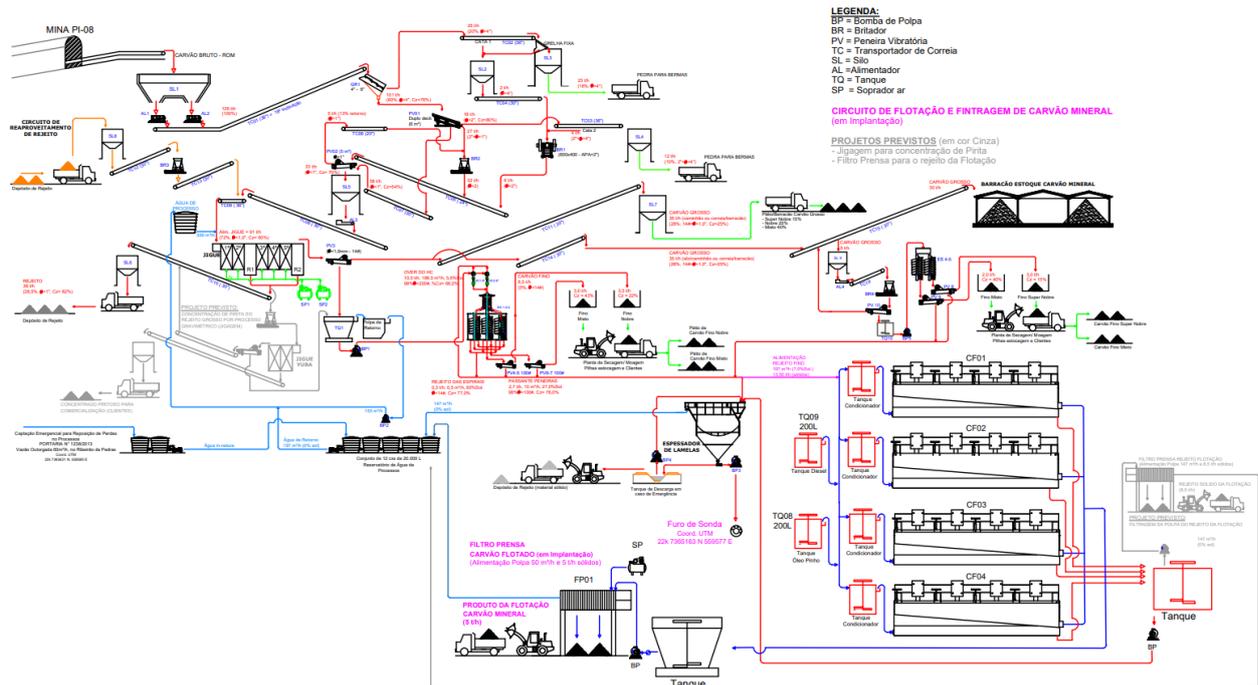
Fonte: Komatsu Mining Corp. e Ibegel Enaex

Minerador Contínuo (CM): 14CM 10A Continuous Miner – Joy Technologies Inc. Technical Production, Explosivo: Emulsão Ibegel 1000. (FIG.4)

Além disso, para compor o quadro de informações relativas ao procedimento operacional da mina, ressalta-se que, nos dois setores descritos, ocorrem quatro 4 turnos de operação, sendo 3 turnos para produção e um para manutenção. Dentre os turnos de produção, há dois diurnos de 7 horas cada e 1 noturno de 6 horas. Para a manutenção há ainda um turno de 4 horas.

Para a visualização do processo de extração e tratamento do carvão mineral como um todo, é também pertinente expor o fluxograma da Planta de Beneficiamento, uma vez que a mudança no método de desmonte altera a qualidade do ROM e afeta os processos empregados na usina. Nesse sentido, esclarece-se que a qualidade do ROM será analisada pelo presente trabalho em tópico posterior, a fim de avaliar qual tipo de desmonte proporciona o método de lavra ideal para a mina analisada.

Figura 6 – Fluxograma da Planta de Beneficiamento



Fonte: Contribuição da Empresa.

2.3. Dimensionamento dos pilares

Dentre as teorias para resistência e dimensionamento de pilares de carvão que foram formuladas ao longo dos anos, podemos citar (Salamon e Oravec, 1976; Salamon, 1986; Salamon, 1992; Peng, 1986; Zorzi, Agostini e Gonzatti, 1991; Mark, 2001). Essas teorias levam em consideração as tensões exercidas pelo maciço no pilar e consideram três fatores em comum, sendo eles:

- Resistência mecânica da rocha que constitui o pilar;
- Largura do pilar;
- Altura do pilar

De acordo com Zingano et.al (2007) a geometria da escavação é a sequência de escavação do minério que tem como parâmetros altura, comprimento, e largura das galerias. Essa geometria é realizada por meio dos projetos de lavra que respeitam a geologia e profundidade da camada.

Logo o dimensionamento dos pilares foi feito utilizando a seguinte metodologia:

- Definição das geometrias de escavação como largura das galerias e travessas e altura média dos pilares;
- Definição das faixas e limites de profundidade da camada de carvão na área da mina;
- Definição dos parâmetros de resistência da camada de carvão e teto baseado nos ensaios e avaliação dos furos de sondagem;
- Calculo da resistência dos pilares utilizando os métodos empíricos de: Salamon-Munro, ARMPS-NIOSH, Obert-Duvall/CIENTEC.
- Cálculo das pressões verticais sobre os pilares pelo método da área tributária;
- Cálculo do fator de segurança (FS) por meio da razão entre resistência do pilar e pressão vertical;
- Definir a dimensão do pilar em função das condições de contorno de cada método de cálculo de resistência.

De acordo com Araújo (2013), a resistência dos pilares é a capacidade do pilar se manter resistente a solicitação de carregamento, que é uma função de suas dimensões, das amplitudes dos vãos e do tipo da rocha. Também de acordo com Araújo (2013), o método da área tributária é baseado no princípio do equilíbrio de forças, e através deste é possível estimar os esforços atuantes no pilar.

A caracterização geomecânica, de acordo com Stein et.al (2011), compreende na análise de três propriedades sendo elas RQD (Rock Quality Designation), qualidade das fraturas e espaçamento das fraturas. Esses parâmetros nos indicam qual a resistência da rocha.

O cálculo do fator de segurança varia de acordo é uma relação entre as forças cisalhantes e resistivas como exemplificado por Peng (2007):

Para calcular o fator de segurança precisamos saber quais são os valores das forças cisalhantes e das forças resistivas, pois o fator de segurança de um pilar é definido pela razão entre a resistência do pilar e a pressão vertical sobre ele. A resistência do pilar e a pressão vertical sobre ele é definido por meio de formulas empíricas.

Utilizando a teoria de Áreas Tributárias para cálculo da tensão sobre o pilar, observamos os seguintes parâmetros:

- Profundidade da mineração ou espessura da camada
- Peso específico médio ou densidade das rochas que formam a cobertura sendo um valor usual para minas de carvão, aproximadamente de 25KN/m³. Este valor foi sugerido por Bieniawski em 1992, Salamon e Oravec em 1976 e por Peng em 1986
- Largura do pilar
- Largura da galeria

Equação 1 - Teoria das Áreas Tributárias

$$\sigma_V = \gamma * H * \left(\frac{C_1 * C_2}{W_1 * W_2} \right)$$

Onde σ_v = tensão sobre o pilar, γ = densidade do maciço (para carvão = 25,0KN/m³), H= profundidade da camada, W=largura dos pilares, B= largura das galerias, C= lado da base do prisma => C=W+B

O cálculo da Resistência do Pilar foi feito através de três métodos utilizados pela empresa, sendo SALAMON, CIENTEC e ARMPS.

Calculo da Resistência do Pilar, através dos 3 métodos:

Equação 2 – Cálculo da Resistencia do Pilar por meio da Equação de Salomon-Munro (1967)

$$\sigma_p = \sigma_m * \frac{W_e^{0,51}}{h^{0,84}}$$

Equação 3 – Cálculo da Resistência do Pilar por meio da Equação da CIENTEC (Obert-Duvall, 1967)

$$\sigma_p = \sigma_m * \left(0,778 + 0,222 * \frac{W_e}{h} \right)$$

Equação 4 – Cálculo da Resistência do Pilar por meio da Equação da ARMPS (Bieniawski, 1984)

$$\sigma_p = \sigma_m * \left(0,64 + 0,36 * \frac{W_e}{h} \right)$$

Onde σ_p = resistência do pilar, σ_m = resistência do maciço rochoso, W_e = área real do pilar, h = altura do pilar.

Dos três métodos citados somente o método CIENTEC leva em conta os fatores: desmonte, esbeltez e tempo.

Equação 5 – Cálculo da Resistência Real do Pilar por meio da Equação da CIENTEC

$$\sigma_{pr} = \sigma_p * fd * fe * ft$$

Onde σ_{pr} = resistência do pilar real, σ_p = resistência do pilar, fd = fator desmonte, fe = fator esbeltez e ft = fator tempo.

3. METODOLOGIA

Superados os referenciais teóricos e considerações iniciais, passa-se a descrever o modo pelo qual foi feita a análise dos parâmetros elencados nos objetivos gerais, a fim de obter uma análise representativa dos dados que consiga justificar a mudança de método de lavra.

3.1. Produtividade

Inicialmente, para observar a diferença de produção de cada método, analisou-se a quantidade de etapas de operação requeridas para cada um deles e como este fator afeta na produtividade. Também foi feito um cálculo de qual é, em determinado espaço temporal, a área desmontada por cada método e a área recuperada no recuo de pilares.

3.2. Custos Operacionais

Para fazer uma comparação entre os custos dos dois métodos, averiguou-se a quantidade de colaboradores necessários, por turno, para cada um deles, a quantidade de insumos necessários. Além do mais, realizou-se uma estimativa dos custos de cada método para o avanço de lavra no painel GD e recuo de pilares, já efetuados nos painéis ED e NW, empregados por meio do desmonte com explosivos e com Minerador Contínuo, respectivamente.

O estudo sobre os custos entre os métodos de desmonte mecânico e desmonte com explosivos não representa o gasto total que a empresa tem com cada método, mas somente a diferença de custos, pois existem gastos que são iguais para ambos os métodos, como por exemplo aqueles relativos ao escoramento do teto, às atividades exercidas pelos operadores das scoops e roofs e ao trabalho de eletromecânicos e outros operadores.

Ademais, quanto aos gastos, não estão sendo contabilizado os custos com a manutenção, pois o Minerador Contínuo é novo e, assim, foram compradas muitas peças para se manter em estoque. Deste modo, a expressividade deste gasto não se mostra capaz de expressar a real diferença entre os custos dos dois métodos, tendo em vista que as faces de drill usadas na perfuração que antecede o desmonte por explosivos são mais velhas e muito provavelmente necessitarão de mais manutenções.

3.3. Qualidade do ROM

Em seguida, para que seja possível comparar a qualidade do ROM que cada método entrega, utilizou-se os dados das análises químicas do sistema de jigagem, feitos nos laboratórios da empresa com as seguintes configurações:

- ROM composto por material do avanço de lavra e recuo de pilares, utilizando apenas o método de desmonte por explosivos;
- ROM composto por material do avanço de lavra utilizando o método com desmonte por explosivo, e material do recuo de pilares empregado por meio do método com desmonte mecânico;
- ROM composto por material do recuo de pilares utilizando apenas o método de desmonte mecânico.

Os parâmetros observados pelos dados de análise química coletados pelo laboratório foram:

- Quantidade de ROM britado;
- Quantidade recolhida pela cata manual;
- Recuperação do ROM bruto;
- Recuperação do Jigue;
- Porcentagem de cinzas no ROM.

3.4. Estabilidade das Galerias

Os dois métodos de desmonte proporcionam diferentes tipos de estabilidade para as galerias e, para calcular essa estabilidade, utilizou-se o fator de segurança de cada método, a resistência dos pilares proporcionada e a tensão vertical exercida sobre os pilares.

Para podermos calcular esses parâmetros, foram aplicadas teorias para resistência e dimensionamento de pilares de carvão, as quais levam em consideração a resistência mecânica da rocha que constitui o pilar, e a altura e largura do pilar.

Empregou-se a teoria de áreas tributárias para o cálculo da tensão sobre o pilar. Já para o cálculo de resistência do pilar e fator de segurança, foram consideradas técnicas atualmente utilizadas pela empresa, sendo elas as seguintes três metodologias: SALAMON, CIENTEC e ARMPS.

3.5. Recuperação de Lavra

Por meio dos cálculos de área recuperada por pilar de cada método, conseguiu-se realizar um comparativo, demonstrando qual método proporciona maior recuperação de pilares e, conseqüentemente, maior recuperação de lavra. Tal fator é responsável por afetar na vida útil da mina e na porcentagem de área lavrável.

Os painéis utilizados para essa comparação foram o ED (o qual emprega desmonte por explosivos) e o painel NW (que emprega desmonte mecânico). Por meio desta análise, foi feita uma estimativa para a lavra do painel GD, de modo a demonstrar qual método seria mais eficaz para aumentar a recuperação de lavra.

3.6. Estimativa comparação de custo e produção para o painel GD.

Depois de analisar-se todos os parâmetros citados no objetivo principal, procedeu-se com uma estimativa de custos e produção para a lavra do painel GD, relativa aos dois métodos de desmonte, a fim de concluir deles é o mais eficaz tanto para o avanço de lavra e para o recuo de pilares.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Após a exposição dos referenciais teóricos e metodologia de pesquisa utilizada no presente trabalho, neste capítulo passaremos para a demonstração dos resultados do estudo, os quais evidenciaram qual o método de desmonte mais adequado para a empresa.

4.1. Geologia da Mina

Quanto à geologia da mina, constatou-se que o carvão lavrado possui alto teor de cinzas em razão de sua formação geológica. Nesse sentido, compreende-se, com base nos registros teóricos sobre o assunto, que o carvão pode ter comportamentos diferentes nos processos de beneficiamento, conforme descrito por Campaner (2005, p. 41, apud FERNANDES et al., 2002).

O carvão com altos teores de cinzas influem negativamente, pois diminuem o rendimento em termos de concentração de carbono, valor calorífico, produção e subprodutos. A temperatura de fusão das cinzas é baixa, e durante a combustão do carvão, pode gerar grandes blocos de cinzas semifundida ou fundida. Estes resíduos em altas proporções, além de diminuir a eficiência do processo com o aumento do consumo de carvão, pode prejudicar os equipamentos da usina.

Além do mais, no que se refere aos resultados obtidos em relação a geologia da mina, destaca-se que apesar de a camada onde se localiza o carvão ser homogênea e extensa, esta possui baixa espessura. Logo, a empresa procura sempre manter o teto das frentes de lavra o mais próximo possível da espessura do carvão, sem ultrapassar um limite ergonômico, a fim de que os colaboradores da empresa trabalhem com segurança.

Acima da camada de carvão, estão localizadas camadas de siltito. Entre estas há também uma camada popularmente chamada pelos colaboradores da empresa de “pedra branca”.

A “pedra branca” está localizada cerca de 15 cm acima da camada de carvão, sendo de grande importância para estabilidade do teto, em razão de sua resistência e ajuda no reforço deste. Entretanto, quando esta camada é afetada pelo efeito do desmonte, no método por explosivos, ela pode ceder e, conjuntamente a cessão, ocorre o deslocamento de grande parte das camadas superiores.

Este processo faz com que o teto das galerias, cujo tamanho ideal é de 1,20m, tenha na realidade uma média de 1,50 m. Este aumento no tamanho empobrece o ROM da mina, uma vez que aumenta muito a diluição do minério e também abaixa a recuperação do minério no beneficiamento.

4.2. Produtividade

O avanço de lavra com desmonte por explosivos exige 5 etapas, sendo elas: perfuração, carregamento, desmonte, transporte/limpeza e escoramento de teto. Já o desmonte mecânico com CM, possui somente 3 etapas: o desmonte, o transporte/limpeza do minério e o escoramento do teto.

O menor número de etapas envolvidas juntamente com outros fatores, faz com que o desmonte mecânico, com uso de Minerador Contínuo, tenha uma produtividade maior que o desmonte com explosivos.

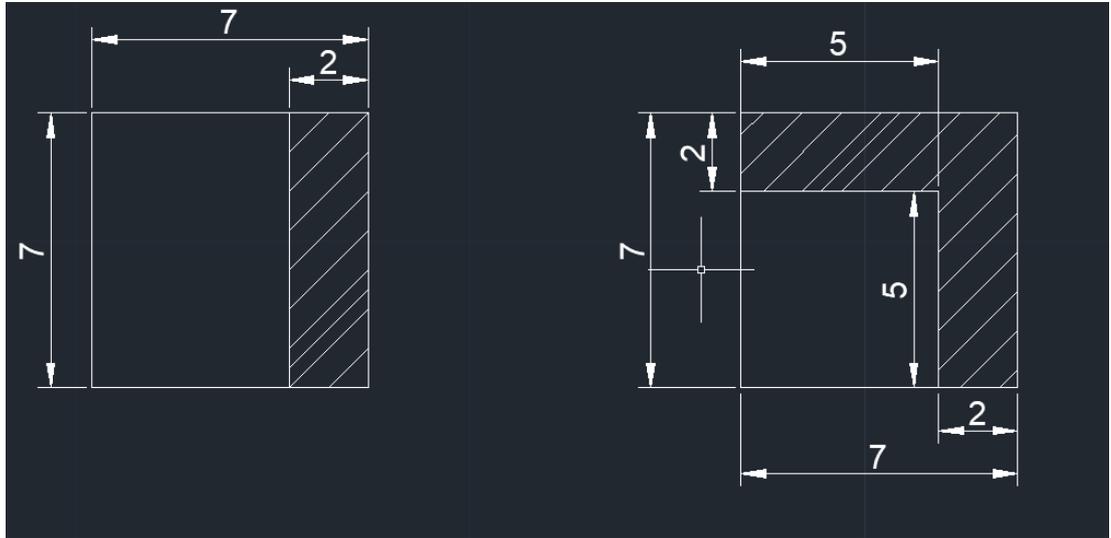
Cabe destacar que, para adequar-se ao método de desmonte mecânico com CM, faz-se necessário realizar a devida limpeza das frentes de lavra com as scoops para que o CM não precise ficar ocioso esperando a limpeza da frente de lavra.

Além do mais, uma outra questão que está intrinsecamente relacionada a produtividade na mineração do carvão da empresa, é a quantidade de área avançada em cada pilar. Este fator varia de acordo com a estabilidade. Deste modo, quando há condições de estabilidade, é possível o avanço no caso do Minerador Contínuo ou o aumento da realização de furos no caso do desmonte com explosivos, aumentando a área desmontada.

Assim, conclui-se que a correlação entre estabilidade e maior área lavrada (critério de produtividade) existe para os dois tipos de desmonte, contudo, conforme veremos a seguir, há diferença nos resultados práticos relacionados a este fator.

4.2.1. Cálculo da área desmontada por pilar pelos dois métodos

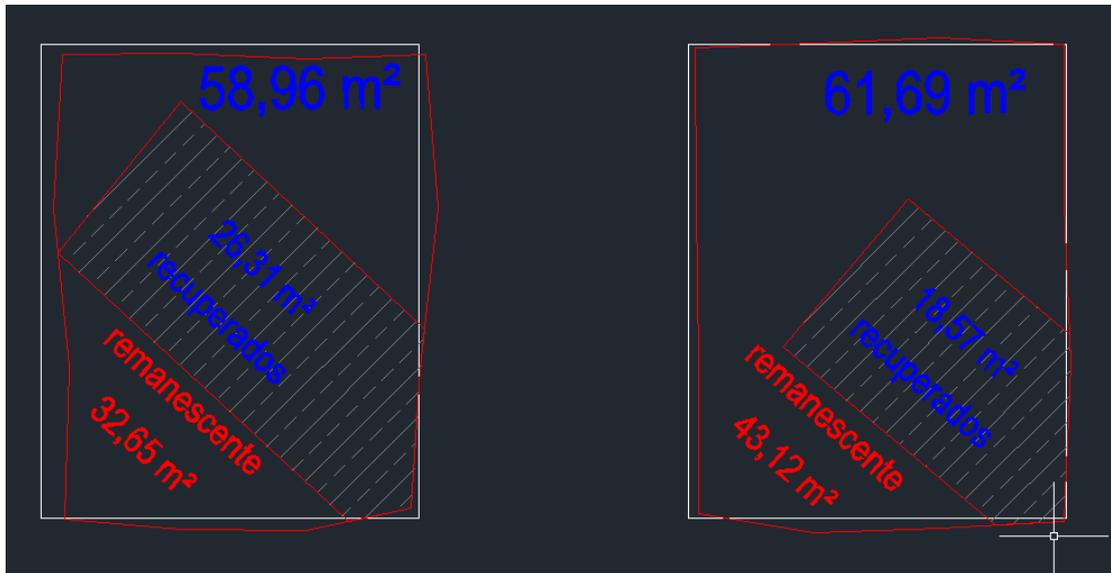
Figura 7 – Área Recuperada no Pilar por Desmonte com Explosivos



Fonte: Contribuição do autor.

Os pilares desmontados com os explosivos têm esse tipo de configuração. Sendo o teto médio de 1,3 m, foram realizados o cálculo da área recuperada por pilar, multiplicado pela altura do teto, a fim de saber o volume recuperado. (FIG.6)

Figura 8 - Área Recuperada no Pilar pelo Minerador Contínuo.



Fonte: Contribuição da Empresa e do Autor.

Já para o cálculo do volume recuperado pelo desmonte mecânico, utilizou-se a informação da quantidade de metros que o CM avançou no pilar, multiplicado pela largura do CM e temos a área recuperada.

Ressalta-se que, conforme anteriormente mencionado, o avanço do CM pode variar de acordo com a estabilidade do pilar e da experiência do operador para avaliar até onde pode ir o equipamento. Para o cálculo do volume, realizou-se a multiplicação da área recuperada pela altura do pilar.

Quanto ao volume, cabe destacar que este será variável a depender do método de desmonte, pois, em se tratando do desmonte mecânico, devido a seletividade do Minerador Contínuo, consegue-se atingir tetos mais baixos com estabilidade (FIG. 7).

Assim, no desmonte mecânico, a relação estéril/minério é diferente em relação ao desmonte com explosivos. Por conta deste fator e do fato de a camada de carvão ser homogênea em sua distribuição espacial, a empresa estima sua produção em área desmontada ao invés de volume/ tonelada desmontada.

Fazendo esses cálculos para todos pilares recuperados pelos dois métodos, os quais serão posteriormente apresentados, obtém-se a produção de cada um deles, sendo possível analisar comparativamente qual é mais adequado para a mina em questão.

Vale ressaltar que o desmonte pelo método de recuo com CM ter maior estabilidade e alguns pilares foram recuperados 100% e não parcialmente. Outro ponto também é que o CM consegue fazer uma lavra seletiva aumentando a qualidade do ROM da lavra e aumentando assim a recuperação de minério no beneficiamento.

Deste modo, neste quesito, o demonstrado mecânico mostra-se mais eficiente, em consonância com as informações bibliográficas:

Quando a rocha for pouco resistente e escarificável o desmonte poderá ser feito por equipamentos mecânicos proporcionando uma lavra ininterrupta e de alta produtividade. Na lavra contínua não há abalos sísmicos gerados por ondas de choque das detonações, o que melhora a segurança (CURI, 2017)

Deste modo, o Minerador Contínuo consegue fazer uma lavra seletiva, enquanto o desmonte com explosão não consegue proporcionar o mesmo nível de seletividade, fato este que pode aumentar a diluição da lavra e conseqüentemente diminuir a produtividade.

4.2.2. Estimativa de produção a partir do cálculo indicado

Como o método por desmonte por explosivos é constituído por várias etapas, não foi possível medir a produção por capacidade de cada equipamento, tendo em vista a dependência que uma etapa tem da outra.

Já no caso do Minerador Contínuo, por não existir esta interdependência entre as etapas, foi possível medir a produção por horas trabalhadas, por meio do ohmímetro.

Logo, levando em consideração um turno de 7 horas, em que 1 h e 5 min fossem destinadas ao transporte dos colaboradores e 55 min ao ajuste dos equipamentos, restam 5 horas de trabalho. Seguindo-se a mesma lógica, em um turno de 6 horas, o tempo de operação seria de 4 horas.

Tabela 2 – Estimativa de Produção no Avanço de Lavra pelos dois Métodos para o painel GD.

	CM	EXPLOSIVO
HORAS TRABALHADAS	39,3375 m ²	-
DIA	550,725 m ²	342,286 m ²
MÊS	13768,125 m ²	8557,14 m ²
TEMPO PARA ACABAR PAINEL GD	118 dias trabalhados	190 dias trabalhados

Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.2 mostra as estimativas de produção dos dois métodos.

Na estimativa feita para o CM, a área lavrada foi dividida pela quantidade de horas efetivamente trabalhadas por dia. Em seguida, essa relação de horas por área foi multiplicada pela área total a ser lavrada do GD, obtendo-se, como resultado, o tempo de vida desse painel pelo método CM.

Quanto ao método com desmonte por explosivos, a média de área lavrada diariamente no painel FD, que atualmente usa o método de avanço de lavra por desmonte, foi multiplicada pela área a ser lavrada no painel GD. Com base nessa média diária, também foi descoberto o tempo de vida desse painel pelo método de desmonte com explosivos.

Cabe observar que existe uma grande diferença quando se compara a produção por hora trabalhada do CM com aquela relativa ao turno ou dia trabalhado. Isso se dá pelo fato que atualmente o CM não opera a todo momento, sendo necessário desligá-lo para transporte entre um pilar e outro, ou quando há condições que impossibilitem seu trabalho como por exemplo: instabilidade da frente ou pilar em que está atuando, limpeza da área em que está operando, e falha elétrica ou mecânica.

Tabela 3 – Produção dos dois Métodos para Recuo.

	CM (NW)	EXPLOSIVO (ED)
HORA	17,57 m ²	-
TURNO	123 m ²	45,4 m ²
DIA	351,4 m ²	136 m ²
MÊS	8785 m ²	3400 m ²

Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.3 mostra a produção pelos dois métodos. Esse cálculo foi feito por meio da divisão da quantidade de pilares recuperado por método pela quantidade de turnos trabalhados no período analisado. No desmonte com uso do Minerador Contínuo ocorreram um total de 67 turnos e para o desmonte com explosivos, 144 turnos.

É também pertinente esclarecer que, no método por CM, o equipamento não funcionava no turno noturno e, no por explosivos, o recuo era realizado em todos os turnos, resultando uma média de 20 horas por dia. Porém, vale lembrar que esta é uma média e, portanto, não conta com o tempo dos equipamentos parados, do transporte dos operadores e de possíveis paradas. Logo, essa média representa o CM operando de forma regular e trabalhando em todos os turnos, 25 dias por mês.

Deste modo, a média não calcula a produção por hora efetivamente trabalhadas, sendo uma estimativa com base na produção atual do minerador, na qual ele opera cerca de 2 horas e meia por turno.

Podemos fazer uma estimativa em horas efetivamente trabalhadas com o CM, porém, a comparação com o desmonte com explosivos será impossível, tendo em vista que o processo de desmonte depende de muitas etapas e por esta técnica não é possível fazer um avanço contínuo proporcionado pelo CM.

Por fim, vale ressaltar que essas estimativas são médias para os dois métodos, uma vez a produção também depende muito da competência dos operadores e do modo operacional de trabalho da empresa, tendo em vista que pode haver turnos nos quais não há desmonte, mas sim limpeza ou transporte do material. Esta observação aplica-se aos dois métodos, porém, é muito mais recorrente no método com detonação de explosivos, tendo em vista que esta só ocorre no final do turno, sendo necessário, anteriormente, limpar as frentes de lavras desmontadas para as roofs poderem escorar o teto, para realizar as perfurações com as drills, e para que os multiblasters organizem os explosivos no furo. Após a detonação, este ciclo se repete.

Já com o uso do Minerador Contínuo, não há necessidade de todas essas etapas, uma vez que este vai funcionar de forma contínua, sem necessidade do processo de limpeza a cada ciclo, jogando o material direto nas scoop. Em seguida, a roof escora o teto, aumentando a produtividade e diminuindo o tempo gasto.

4.3. Custos Operacionais

Citando Borges (2013), “O equilíbrio entre produtividade e custos não é necessariamente o método que resulta em maior produção, mas sim o que tenha a melhor relação custo-produção.”. Logo, torna-se de suma importância definir qual é este equilíbrio. No caso que se estuda no presente trabalho, para determinar qual método de desmonte possui a melhor relação custo-produção na mina, realizou-se uma avaliação das diferenças de custos relacionados aos métodos de desmonte mecânico e por explosivos.

Entre os parâmetros pertinentes para o cálculo do custo médio relacionado a cada um dos métodos, figura a quantidade de colaboradores necessários por turno, tendo em vista que os gastos totais incluem a despesa com os funcionários.

Tabela 4 – Diferença na Quantidade de Colaboradores por Turno.

	DESMONTE AVANÇO	DESMONTE RECUO	CM AVANÇO	CM RECUO
DRILL	6	2	-	-
CM	-	-	2	2

Fonte: Contribuição do Autor.

Nesse sentido, observa-se, a partir dos dados da TAB.4, que a quantidade de pessoas necessárias para fazer uma frente de lavra pelo desmonte com explosivos é superior às necessárias para operação da frente com o CM. Assim, na empresa estudada, o desmonte com explosivos requeria, no período analisado, uma média de 20 colaboradores, ao passo que, se a lavra fosse feita com o Minerador Contínuo, o trabalho seria realizado por aproximadamente 16 colaboradores. Cabe ressaltar que esta análise se pautou somente no número de colaboradores, sem incluir as despesas com salários de cada um destes.

Ademais, avaliando-se outros critérios relativos ao quadro comparativos entre custos despendidos, destaca-se que o desmonte por explosivos necessita de gastos relativos ao consumo de energia dos equipamentos, acessórios como estopim, emulsão, filme plástico e bits para drill. Tais insumos são utilizados para que o desmonte seja possível, uma vez que toda atividade de operação necessita de insumos que a auxiliem.

Já no desmonte com CM, os gastos relativos a equipamentos e acessórios resumem-se aos bits para o CM, e a energia gasta pelo equipamento.

Como os dois métodos de avanço utilizam a roof e os dois métodos de recuo não o fazem, este equipamento não foi considerado nesta comparação de custos. Do mesmo modo, o as scoops também não foram contabilizadas, uma vez as duas técnicas de desmonte a utilizam tanto no avanço quanto no recuo.

Além do mais, ressalva-se ainda que, no método de desmonte com explosivos, são necessárias duas faces drill no avanço e somente uma no recuo, enquanto no método com desmonte mecânico, são precisas somente 1 CM no avanço e 1 CM no recuo.

Tendo em vista tais considerações, apresenta-se a tabela abaixo, a qual apresenta os custos de equipamentos e acessórios relativos aos dois métodos.

Tabela 5 – Quantidade de insumos necessário para cada método.

	PRODUTO	QTD. POR FRENTE DESENV	QTD. POR FRENTE RECUO	QTD POR METRO ² AVANÇO	QTD POR METRO ² RECUO
DESMONTE COM EXPLOSIVO	EMULSÃO	20	18	1,59	1,03
	ACESSÓRIOS	10	8	0,79	0,46
	ESTOPIM	1	1	0,08	0,06
	FILME PLÁSTICO	10	8	0,79	0,46
	BIT (drill)	0,23	0,08	0,02	0,00
	ENERGIA DRILL(Kw/h)	13,18	25,37	1,05	1,45
CM	BIT (CM)	-	3,10	0,08	0,08
	ENERGIA CM(Kw/h)	-	482,79	11,72	11,72

Fonte: Contribuição do Autor.

Deste modo, a partir dos valores expostos na tabela, podemos concluir que, para o caso estudado, o método de desmonte por explosivos utiliza mais insumos. Tendo como base o preço unitário de cada um deles, e multiplicando-pelas devidas quantidades, obtém-se o total de custos para cada método.

Quanto aos critérios aplicados para a determinação das quantidades, faz-se necessário tecer algumas observações. Para recuperação de pilares através do desmonte com explosivos, o cálculo de carregamento de explosivos de cada pilar varia de acordo com seu tamanho, pois este influencia na quantidade de furos e explosivos. Contudo, a partir dos dados concretos, foi determinada uma média de 5 furos com 3 explosivos por furo para os desmontes retilíneos (I) e de 8 furos com 3 explosivos por furo para o desmonte em forma de (L), resultando uma média de 18 emulsões por pilar.

Acrescenta-se também, ainda em relação a determinação de quantidades, que a máquina face drill gasta mais bits no avanço que no recuo, tendo em vista que, nesta parte, é necessário realizar uma perfuração mais profunda. Ademais, O CM, apesar de gastar mais bits que a face drill, tem menor custo em razão do preço unitário dos bits de cada equipamento. Entretanto, o Minerador Contínuo apresenta um maior consumo de energia elétrica que as duas drill, em funcionamento.

Figura 9 – Bits Minerador Contínuo (esquerda) & e Bits Face Drill (direita)



Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.6, a seguir exposta, e valendo-se dos termos acima explicados, indica os custos estimados para os dois métodos. O cálculo foi realizado utilizando-se, como mencionado, a quantidade de insumos para cada método vezes o valor unitário de cada insumo, e também, a área total lavrada. Sobre os dados apresentados, ressalva-se que pelo fato de o CM ser um método contínuo, não existe uma área de frente de lavrada definida. Assim, o avanço é feito pelo CM de acordo com a experiência do operador em conhecer o corpo geológico e saber o quanto é possível avançar naquele ponto, de modo que, a depender da estabilidade do pilar, o operador consegue até recuperá-lo 100%.

Tabela 6 – Estimativa de Custos para o Painei GD pelos dois Métodos.

	DESMONTE EXPLOSIVO		DESMONTE CM	
	AVANÇO (GD)	RECUO (ED)	AVANÇO (GD)	RECUO (NW)
CUSTO POR METRO ²	R\$ 22,04	R\$ 13,48	R\$ 6,95	R\$ 6,95
TOTAL	R\$ 1.430.410,9 1	R\$ 88.097,54	R\$ 451.256,66	R\$ 57.290,53
ÁREA POR PILAR/ FRENTE	12,6 m ²	17,47 m ²	-	41,2 m ²
ÁREA TOTAL	64896 m ²	6536 m ²	64896 m ²	8239,05 m ²

Fonte: Contribuição do Autor.

A expressividade da diferença nos altos custos para o desmonte com explosivos ocorre devido ao alto custo dos explosivos e a quantidade utilizada no método por explosivos, vemos também pela tabela 5 que apesar do método do desmonte mecânico gastar mais energia e bits o mesmo ainda é mais econômico, podemos ver o maior gasto dos explosivos em relação aos bits na quantidade utilizada por área avançada, este fator aumenta os custos da operação.

4.4. Qualidade do ROM

A relevância dos processos de controle de qualidade e amostragem é explicada por Luz et.al (2010) da seguinte forma:

“A importância da amostragem é ressaltada, principalmente, quando entram em jogo a avaliação de depósitos minerais, o controle de processos e a comercialização de produtos. Ressalte-se que uma amostragem mal conduzida pode resultar em prejuízos vultosos ou em distorções de resultados com consequências técnicas imprevisíveis. A amostragem é, sem dúvida, uma das operações mais complexas e passíveis de introduzir erros, deparadas pelas indústrias da mineração e metalurgia.”

No caso estudado, o controle de qualidade de todas operações é feito pela própria empresa, que conta com um laboratório para analisar todos os parâmetros que asseguram a qualidade dos processos. Por meio destes parâmetros analisados, é possível identificar a qualidade do ROM nos processos de beneficiamento.

As análises químicas permitem a definição da umidade do ROM e da porcentagem de cinzas, bem como outros fatores que possibilitam o conhecimento da recuperação de processos, como por exemplo, a análise das informações relativas ao jiguel.

Os processos de beneficiamento têm como finalidade adequar o minério aos padrões do mercado consumidor, conforme descrito por Luz et.al (2010):

Frequentemente, um bem mineral não pode ser utilizado tal como é lavrado. Quando o seu aproveitamento vai desde a concentração até a extração do minério, por exemplo, a primeira operação traz vantagens econômicas (e energéticas) à metalurgia, devido ao descarte de massa (rejeito), alcançado na etapa de concentração.

Como o Minerador Contínuo, diferentemente do desmonte com explosivos, consegue fazer uma lavra seletiva no desmonte mecânico da rocha, a qualidade ROM com o CM é melhor, tendo em vista a menor quantidade de diluição. Tal fator se deve ao fato de a camada de carvão extraída ter, em média, 70 cm de espessura. Assim, tetos maiores acarretam menor diluição e, conforme anteriormente esclarecido, no método de desmonte por explosivos existe dificuldade maior em manter o controle da altura do teto.

A empresa analisada, atualmente, está com dificuldade em manter o teto da mina baixo, em razão do emprego do método de desmonte por explosivos, mas também pela própria geologia do local. O teto alto gera um ROM mais pobre, uma vez que neste haverá mais estéril e também mais rejeito no beneficiamento.

Tabela 7 – Exemplo de Material Analisado do Minerador Contínuo para Qualidade do ROM

Material	Quantidade(toneladas)
Carvão Fino Misto	20,81
Carvão Fino Super Nobre	169,63
Carvão Grosso Nobre	37,90
Rejeito Grosso	255,38
Rejeito Fino	53,75
Cata Pedra	9,12
ROM Total	546,59

Fonte: Contribuição da Empresa.

Atualmente, o avanço normal da lavra é realizado com desmonte por explosivos, enquanto o recuo é feito com o CM. Cabe ressaltar que, em maio, houve um período em que o CM não estava operando. Ademais, destaca-se ainda a ocorrência de outro período em que somente o material do recuo operado pelo CM foi encaminhado para a análise. Logo, serão expostos 3 cenários de análise do material no jig: somente obtido pelo desmonte com explosivos, somente do recuo operado por CM, e os dois juntos.

Tabela 8 – Recuperação do Beneficiamento.

	CM + AVANÇO (JUN-2022)	AVANÇO(MAIO- 2022)	CM RECUCO (28/07/2022)
ROM. BRITADO	68%	76,1%	98,33%
CATA	32%	23,9%	1,67%
REC. ROM BRUTO	29%	22,65%	41,8%
REC. JIGUE	43%	29,77%	42,48%
%CINZA ROM	61,78	67,42	52,35

Fonte: Contribuição do Autor.

Os parâmetros indicados na tabela acima, relacionados a qualidade do ROM resultante da coleta mecânica pelo Minerador Contínuo para cada material e de maneira total, correspondem, à cata manual de carvão e aos produtos finais e rejeitos do jigüe, sendo possível observar uma recuperação total de 41,8% e recuperação no jigüe de 42,48%. (TAB.8)

A partir da tabela exposta, destaca-se que a recuperação total do jigüe foi calculada por meio dos materiais analisados para os três cenários e mediante a realização de um balanço de massas juntamente com a relação estéril minério. Portanto, conclui-se que o Minerador Contínuo proporciona um ROM de maior qualidade.

“É impossível, na prática, obter uma separação completa dos constituintes minerais. Sabe-se, como regra geral, que quanto maior o teor dos concentrados, maior é a perda, ou seja, mais baixas são as recuperações.” (Luz et.al, 2010)

Após um período de inatividade, o CM da empresa retornou a operar a partir de 14 de maio, e comparando a recuperação do ROM e a porcentagem de cinzas antes e depois do CM entrar em funcionamento, é possível perceber uma diferença clara na qualidade do ROM.

Além do mais, também houve um teste (28/07/2022) no qual se utilizou somente o material extraído pelo CM na recuperação de pilar, e não o misturou com o do avanço de lavra realizado pelo desmonte por explosivos. O referido teste resultou em uma recuperação maior do que aquela anteriormente observada.

A título de observação, esclarece-se que as cinzas consistem em tudo aquilo que não é carbono (carvão), ou seja, quanto mais cinzas houver, mais rejeitos existirão no ROM. Logo, observa-se que conforme aumenta-se a quantidade de minério vindo do Minerador Contínuo, também há uma elevação na qualidade do ROM; e deste modo, percebe-se também um aumento na recuperação e uma diminuição na porcentagem de cinzas.

Por fim, a partir da análise das tabelas indicadas neste capítulo, denota-se que tanto a recuperação do jigue como a do ROM bruto aumentaram com o emprego do método de desmonte mecânico, indicando que a lavra seletiva do CM encaminha minério de melhor qualidade para o beneficiamento e isso aumenta a recuperação deste.

4.5. Estabilidade das Galerias

A resistência das rochas é um dos parâmetros para escolha de método de lavra, conforme descrito por Curi (2017):

A resistência das rochas é determinada por um conjunto de propriedades físicas e mecânicas, tais como dureza e presença de juntas, laminações, inclusões e intercalações. A resistência mecânica é definida por testes de resistência a compressão uniaxial ou triaxial e testes de resistência a tração. A resistência das rochas tem grande influência na seleção dos métodos de lavra.

Em relação a estabilidade das galerias, o desmonte mecânico com Minerador Contínuo mostra-se mais estável em relação ao método que emprega explosivos, uma vez que no primeiro não há vibrações e impactos gerados pela explosão, os quais afetam na estabilidade dos pilares e tetos.

Tabela 9 – Exemplos da empresa de fatores de segurança (FS) de pilares com desmonte por explosivo de acordo com a geometria do pilar.

PAINEL	PROFUNDIDADE(m)	PILAR(m)	FS	RECUPERAÇÃO	F.S(hipotético)
BD	120	7X7	1.8	66%	1,3
BD	120	6X7	1.6	68,2%	1,3
CE	140	7X7	1.5	66%	1,4
CE	140	7X8	1.7	64,1%	1,4
CE	160	7X9	1.6	62,5%	1,4
CD	110	7X7	1.6	62,5%	1,2

Fonte: Contribuição da Empresa.

Como podemos ver na TAB.9, por meio do estudo feito pela empresa, percebe-se como, no método de desmonte por explosivos, o fator de segurança (FS) varia de acordo com a geometria do pilar. O FS hipotético se encontra em situações em que o fator desmonte e as vibrações que ocorrem dentro do pilar lhe geram danos, fazendo a resistência da camada diminuir, juntamente com o fator de segurança. A seguir, para melhor compreensão, descreve-se um exemplo calculado:

- No painel BD a resistência da camada seria de 6.2 MPa. Com o método de recuperação de pilares com explosivos, considerou-se que o efeito do desmonte e da vibração dentro do pilar conformariam uma hipótese em que a resistência deste seja menor que 6.2MPa. Logo, partindo-se desta hipótese em que a resistência foi estimada em 5MPa, o fator de segurança seria de 1,3 sendo menor que o mínimo admitido pela metodologia, mas ainda acima de 1.0.

Quanto ao desmonte mecânico com o Minerador Contínuo, a TAB.10 apresenta outro estudo feito pela empresa em relação a possíveis cenários considerados para fazer o avanço de lavra com o Minerador Contínuo. Dentre estes cenários, será selecionado um para compor uma análise que demonstrará qual método proporciona maior estabilidade. Tal análise será realizada de acordo com as metodologias descritas na revisão bibliográfica.

Tabela 10 – Possíveis cenários para o painel GD operar com CM.

PAINEL (CENARIO)	PROFUNDIDADE (m)	PILAR(m)	Nº DE GALERIAS	Nº DE PILARES
GD (1)	120	6X7	9	576
GD (2)	120	6X13	9	392
GD (3)	120	9X7	5	288
GD (4)	120	9X20	7	216
GD (5)	120	6X13	9	392

Fonte: Contribuição da Empresa.

Por motivos de logística do CM e dos princípios de pesquisa operacional, foi escolhido o cenário 5, definindo-se as seguintes variáveis:

- Desmonte mecânico com CM, com altura do pilar de 1,2 m
- Desmonte mecânico com CM, com altura do pilar de 1,0 m
- Desmonte com explosivo, com altura do pilar de 1,3 m

Tabela 11 – Cálculo do FS e da Resistencia dos Pilares no Painel GD através do cenário

5.

	CM	CM	EXPLOSIVO
ALTURA DO PILAR	1,2 m	1,0 m	1,3 m
TENSÃO VERTICAL	8,68 Mpa	8,7 Mpa	8,67 MPa
RESISTÊNCIA DO PILAR (SALAMON)	13,27 Mpa	15,46 Mpa	12,4 MPa
RESISTÊNCIA DO PILAR (ARMPS)	15,13 Mpa	17,36 Mpa	14,27 MPa
RESISTÊNCIA DO PILAR REAL (CIENTEC)	11,71 Mpa	13,08 Mpa	8,69 MPa
FS SALAMON	1,53	1,78	1,43
FS ARMPS	1,74	2	1,65
FS CIENTEC	1,35	1,5	1,00

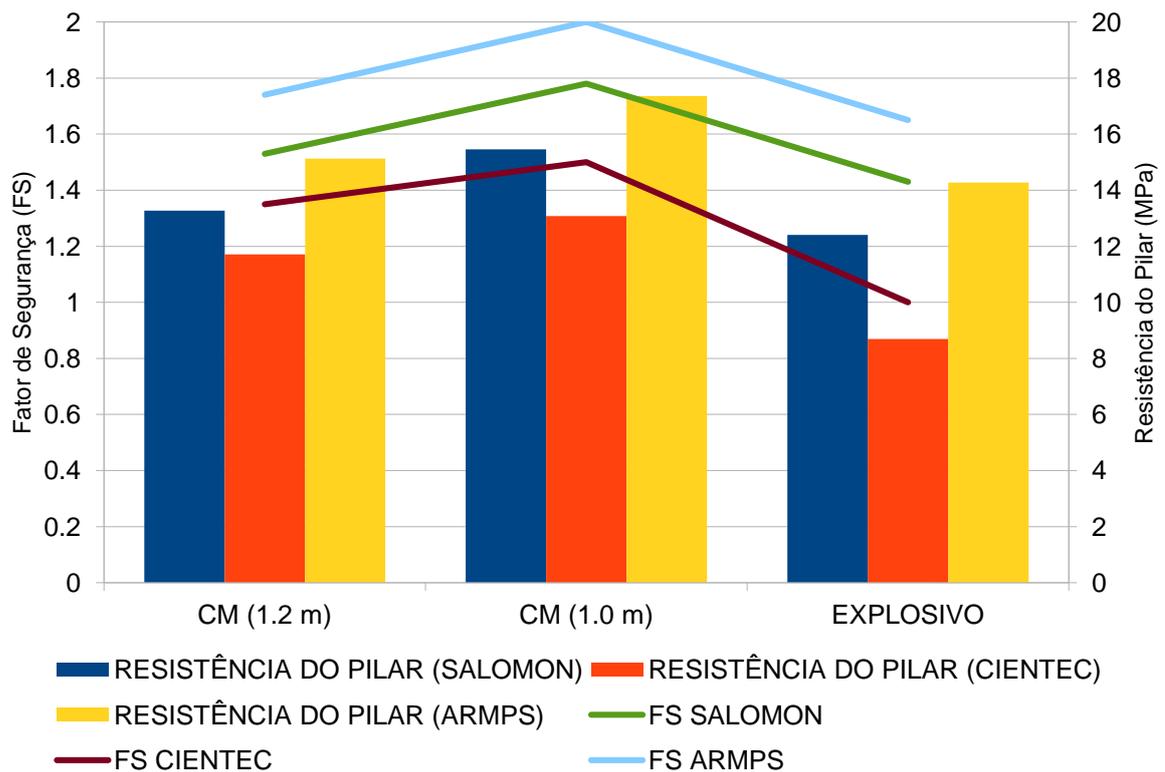
Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.11, por meio dos métodos: SALAMON, CIENTEC e ARMPS, mostra a tensão vertical, a resistência do pilar e o FS calculado para cada variável do cenário 5, uma vez que estes são critérios importante para avaliação da estabilidade proporcionada por cada técnica de desmorte. Comparando-se o FS e a resistência do pilar das 3 variáveis do cenário 5, podemos confirmar que o desmorte mecânico com CM proporciona uma maior estabilidade e segurança em relação ao desmorte com explosivos.

Também se observou que o fator de segurança mínimo da empresa é de 1,3.

Os dados utilizados para a realização desses cálculos foram retirados dos estudos geomecânicos feitos pela empresa. Também foram utilizados o software que opera pelo método empírico, de Mark et.al (1993), de dimensionamento de pilares NIOSH/Estados Unidos, chamado ARMPS- Analysis of Retreat Mining Pillar Stability.

Figura 10 – Comparação entre o FS e Resistencia do Pilar pelos três Métodos.

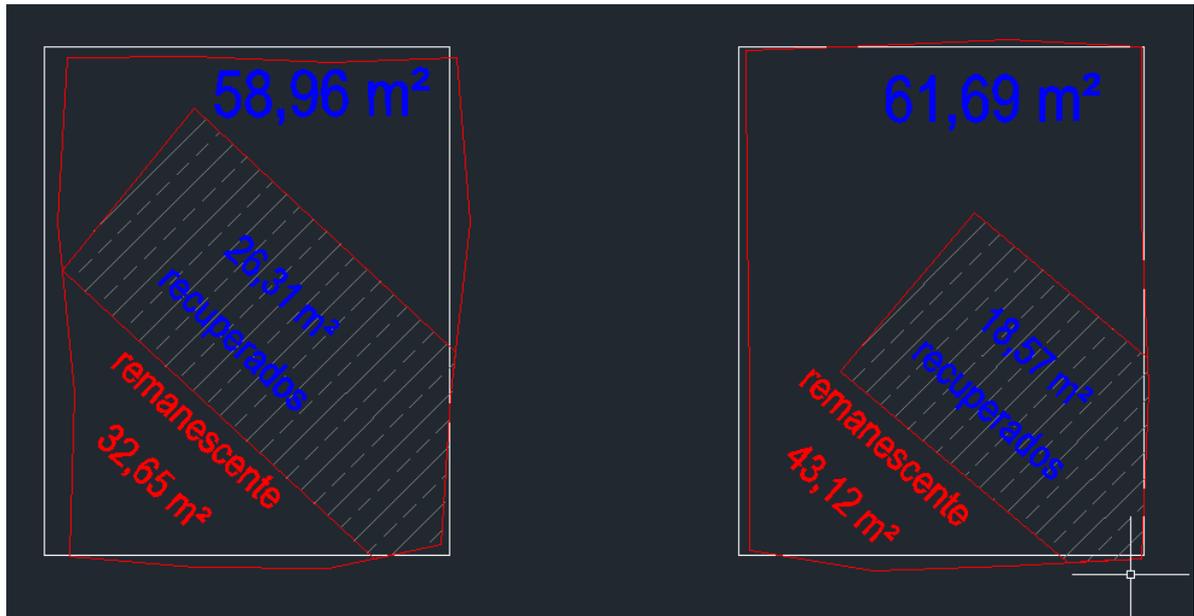


Fonte: Contribuição do Autor.

A FIG.9 mostra claramente a diferença entre os FS e a Resistência dos pilares de cada um dos métodos, comprovando que o desmonte pelo CM proporciona maior segurança.

Outro fator que evidencia o bom controle que o Minerador Contínuo apresenta em comparação aos desmonte por explosivo é o resultado final da geometria dos pilares recuperados. Nesse sentido, esclarece-se que a FIG.10, a qual indica este ponto, é bem fiel ao resultado final da recuperação pelo CM.

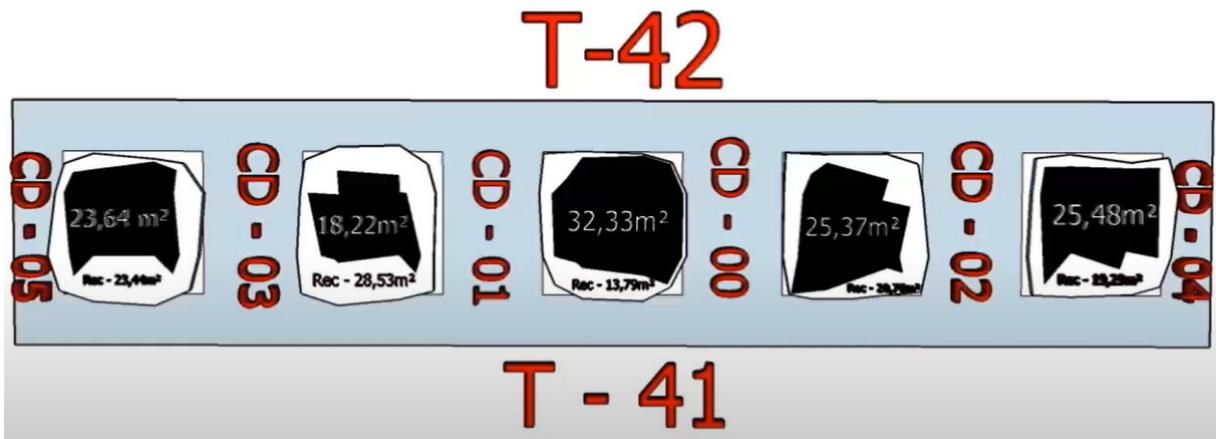
Figura 11 - Geometria do pilar recuperado pelo CM



Fonte: Contribuição da Empresa e do Autor.

A recuperação de pilar por desmonte com explosivos está exemplificada pela FIG.11.

Figura 12 - Geometria do pilar recuperado pelo desmonte com explosivos



Fonte: Contribuição da Empresa.

Por fim, é importante destacar que para ambos os métodos desmonte ocorre a incidência de queda de blocos laterais, essa incidência é potencializada pelo desmonte com explosivo pois esse método pode gerar blocos e ultralançamento do material.

4.6. Recuperação De Lavra

No que diz respeito a recuperação de pilares, o Minerador Contínuo também apresenta maior produtividade do que o método com explosivos, uma vez que o primeiro consegue retirar mais material do pilar a ser recuperado sem afetar tanto na sua estabilidade, além de recuperar mais pilares em razão da referida estabilidade. Uma taxa de recuperação maior está intrinsecamente ligada a vida útil da mina e à sustentabilidade destas preocupações estas que se mostram extremamente relevantes, uma vez que o carvão mineral é um bem de consumo não renovável sendo necessário buscar o maior aproveitamento possível desse recurso.

A FIG.12, acima exposta, indica quais pilares foram recuperados por cada método.

O Minerador Contínuo é novo na empresa tendo começado a operar em maio de 2022. Este está realizando o recuo do painel NW e, até o final deste estudo, o painel ainda não havida sido 100% recuperado. Logo, para o Minerador Contínuo, foi considerado somente a atual área recuperada.

Tabela 12 – Recuperação por pilar pelos dois métodos.

	Desmonte por explosivo (ED)	Minerador Contínuo (NW)
ÁREA (m ²)	17,47	41,2
Volume (m ³)	22,72	32,96

Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.12 mostra o resultado da recuperação por pilar de cada método. Para o cálculo da área e volume recuperado por pilar procedeu-se com a contagem de quantos pilares foram retirados por método, por meio do mapa da FIG.10, e, em seguida, realizou-se os cálculos de área e volume como descrito nos cálculos de produtividade.

Tabela 13 – Recuperação total dos pilares pelos dois métodos.

	Desmonte por explosivo (ED)	Minerador Contínuo (NW)
ÁREA (m ²)	6536	8239,05
Volume (m ³)	8496,8	6591,24
Pilares Recuperados	49,87%	54,95%

Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.13 mostra o resultado da recuperação total de cada método. Para o cálculo da área total recuperada multiplicou-se a quantidade de pilares recuperados pela área recuperada de cada um deles. Em seguida, a área total recuperada foi multiplicada pela altura de cada pilar, resultando no volume total.

Para calcular a porcentagem de pilares recuperados para cada método realizou-se uma comparação entre a quantidade de pilares recuperados com a quantidade total de pilares em cada painel. Vale que, até o momento da coleta dos dados, o painel NW não tinha sido 100% recuperado.

O volume recuperado por desmonte com explosivos foi maior, porém, este método também produziu uma grande quantidade de rejeito, uma vez que camada de carvão é homogênea e tem em média 70 centímetros de espessura, de modo que quanto maior a área mais carvão propriamente dito é recuperado.

Tabela 14 – Cálculo da Reserva da Jazida do PI-08.

RESERVA	ÁREA (m ²)	Volume in situ (m ³)	Reserva in situ(t)
Reserva Medida	4.000.000	2.720.000	4.080.000
Reserva Indicada	1.750.000	1.190.000	1.785.000
TOTAL	5.750.000	3.910.000	5.865.000

Fonte: Contribuição da Empresa.

A TAB.14, por sua vez, mostra a quantidade de reserva medida pela empresa. Os métodos de recuperação de pilares podem maximizar a área lavrável. Confirmando o estudo feito por Weiss et.al (2017), os resultados obtidos pelos dados coletados pela empresa indicaram que a lavra sem a recuperação de pilares está com a recuperação de lavra estimada em 62,5%. Além do mais, tal levantamento estimou que, com o emprego da recuperação de pilares pelo método de desmonte com explosivo, este valor pode aumentar para 75,7% o que equivale ao aumento de vida útil da mina em quase 5 anos.

No que concerne à recuperação de pilares, a empresa também realizou um planejamento para o painel GD, no qual pretende-se dar início a utilização do CM para avanço de lavra dentro de 5 cenários propostos mudando entre eles a geometria do pilar.

Tabela 15 – Parâmetros de cenários propostos para o painel GD.

CENÁRIOS	1 (6X7m)	2 (6X13m)	3 (9X7m)	4 (9X20m)	5 (6X13m)
ÁREA LAVRADA	76.162 m ²	74.896 m ²	50.198 m ²	67.911m ²	74.892m ²
REC. LAVRA	74,66%	67,97%	70,63%	53,73%	57,97%
REC. RECUO	79,77%	78,44%	81,25%	75,57%	78,44%

Fonte: Contribuição da Empresa.

Por conta de logística do CM, o cenário 5 foi o escolhido por ser o melhor para operar a máquina (TAB.15). Logo, o painel GD empregará um método de escavação por câmaras e pilares por meio do desmonte mecânico, e, conforme visto, o desmonte com CM tem uma maior recuperação de lava que o desmonte com explosivos.

4.7. Estimativa e comparação de produção e custos para o painel GD

Os princípios de pesquisa operacional têm como função encontrar uma relação ótima entre custos e produção. Gonçalves (2017), exemplifica isso por meio do transporte de minérios:

Como na maior parte dos casos o carregamento e o transporte das rochas são feitos em conjunto por escavadeiras/carregadeiras e caminhões, respectivamente, é evidente a necessidade de um estudo tanto do dimensionamento da frota e equipes de manutenção quanto da melhor alocação desses equipamentos, o que pode ser feito com a utilização de softwares e princípios de pesquisa operacional (PO).

A fim de verificar o custo e produção dos dois métodos, utilizou-se o novo painel GD como exemplo. A partir deste procedimento, observou-se a diferença na quantidade de carvão e na recuperação do jigüe que será produzida em determinado tempo.

Tabela 16 – Produção estimada para o painel GD.

AVANÇO	CM	EXPLOSIVO
DIA	550,725 m ²	342,286 m ²
MÊS	13768,125 m ²	8557,14 m ²
TEMPO PARA ACABAR PAINEL GD SEM RECUO	118 dias trabalhados	190 dias trabalhados

Fonte: Contribuição do Autor.

A TAB.16 mostra que o CM consegue produzir mais em menos tempo em relação ao desmonte por explosivo.

Para o desmonte com explosivos, na geometria do cenário 5, não há como haver recuperação de pilar, pois o FS somente com o avanço de lavra já está em 1 (Selecionou-se o método da CIENTEC de cálculo de FS por conta de ser o único método que calcula o fator de desmonte e também é o método mais usado pela empresa). Logo, teremos 64.896 m² de área lavrada com uma recuperação no beneficiamento de 22,65%.

Já o método de desmonte com CM consegue recuperar 24 m² de cada pilar, valor correspondente a 30% da área do pilar, resultando em um total de área recuperada de 9408 m². Ademais, a geometria deste pilar depois de recuperado seria de 9X6 m. Assim, teremos 74.304 m² de área lavrada no total ou 77,8% da área total, com uma recuperação no beneficiamento de 41,78%. O CM faria a recuperação de pilares no painel todo em 17 dias trabalhados.

Por fim, foi calculado o custo para a recuperação do pilar nos dois métodos de desmonte.

Tabela 17 – Custo do avanço de cada método.

CUSTO	CM	EXPLOSIVO
AVANÇO	R\$ 451.225,17	R\$ 1.430.410,91
RECUO	R\$ 65.414,30	INVIÁVEL DEVIDO AO FS
TOTAL	R\$ 516.639,47	R\$ 1.430.410,91

Fonte: Contribuição do Autor.

Por meio da TAB.17, vemos que, mesmo com o custo do recuo, o método com desmonte de explosivo é quase 3x mais caro que o método com o CM, além de menos produtivo.

5. CONCLUSÃO

Por todo o exposto, conforme demonstrado nos resultados e discussões, utilizando-se apenas 1 CM no avanço e 1 CM no recuo, o desmonte mecânico se mostrou um método mais produtivo no que se refere à análise da mina em questão, por conseguir realizar maior recuperação de lavra e retirar quase o dobro de área desmontada por dia no avanço, em comparação ao método com explosivos.

Quanto ao recuo de pilares, o método com CM desmontou quase 3 vezes mais área por dia do que o com explosivos, comprovando assim, que primeiro é superior em questões de produtividade em relação ao segundo.

Analisando os custos operacionais, o método com CM necessita de menos colaboradores atuando na lavra, mas, na verdade, o que se destaca é a diferença nos custos dos insumos, sendo o Minerador Contínuo o método mais barato, por gastar quase 3 vezes menos para realizar o avanço de lavra e metade no que concerne ao recuo.

Reitera-se que a empresa possui somente um Minerador Contínuo e, comprar um novo a fim de realizar o avanço e o recuo por este método, poderá ser muito oneroso, uma vez que ainda teria que realizar o desmonte com explosivo, mantendo-se se os altos gastos com insumos, enquanto compra um novo Minerador Contínuo. Apesar dessas considerações, pensando-se a

longo prazo, o CM consiste em uma opção viável economicamente uma vez que, atualmente, a empresa gasta muito com os explosivos e seus insumos.

Conforme demonstrado pela TAB.8 apresentada no presente trabalho, a qualidade do ROM é superior quando utilizado o método do desmonte mecânico com CM, tendo em vista que a recuperação do ROM é quase o dobro em relação ao método com explosivos. Ademais, com o Minerador Contínuo, a porcentagem de cinzas diminui devido a seletividade maior desta máquina, a qual proporciona menor desgaste nos maquinários utilizados no beneficiamento, em especial no moinho.

Em relação à estabilidade do maciço proporcionada pelos dois métodos, concluiu-se que devido ao fato de o Minerador Contínuo não ter o fator desmonte associado, ao calcularmos a resistência do pilar e o fator de segurança, este proporciona um FS superior ao método de desmonte com explosivos, uma vez que o desmonte com explosivos gera impactos e vibrações que podem afetar a estabilidade do pilar.

Em razão dessa maior estabilidade proporcionada pelo Minerador Contínuo e também de sua alta seletividade, é evidente que esta máquina consegue recuperar mais área quando é realizado o recuo dos pilares, aumentando a recuperação de lavra e aproveitamento do recurso. Nesse sentido, a área recuperada por pilar com o CM é maior que o dobro da que a recuperada pelo desmonte com explosivos. Vale ressaltar que, dependendo da estabilidade do maciço, o CM foi capaz de recuperar o pilar por inteiro.

Outro ponto importante de ressaltar é que o desmonte mecânico proporciona mais segurança para os operadores e colaboradores da mina, pois a mineração é uma atividade que envolve uma série de riscos e desafios, e a segurança é um fator crítico que precisa ser considerado em todas as etapas do processo de mineração.

A falta de segurança na mineração pode levar a acidentes graves, como deslizamentos de terra, explosões, desmoronamentos, incêndios, quedas e outras situações que colocam em risco a vida dos trabalhadores e das comunidades próximas à mina.

Portanto, a maior segurança proporcionada pelo Minerador Contínuo é algo a ser levado em conta na escolha desse método, pois isso também reflete os valores e ética da empresa.

Analisando-se esses dados, a empresa irá começar a realizar a lavra do painel GD com o Minerador Contínuo, uma vez que esse método foi considerado o mais adequado para a lavra. Porém é importante levar em consideração alguns possíveis gargalos:

- Dificil achar peças e insumos para a máquina operar.
- Conforme citado anteriormente, o alto custo da compra do minerador pode dificultar aquisição de outro neste momento, uma vez que a empresa possui altos gastos com a realização do avanço por explosivo. Destaca-se que, após o avanço ser realizado integralmente pelo uso do CM, é mais provável que se adquira outro para fazer o recuo dos pilares.
- Caso o CM estrague a lavra pararia completamente.

Levando-se em consideração esses possíveis problemas, o ideal seria que a empresa obtivesse mais um Minerador Contínuo, para caso ocorra falha nele ou necessidade de manutenção preventiva, a lavra não pare por completo.

O preço atual de um CM novo da Komatsu está entre 1 a 1,6 milhões de reais, já no caso de um minerador usado este pode ter um valor aplicado de 70-75% do valor atual, resultando em cerca de 950 mil reais. Logo, em um cenário ideal, no qual a empresa adquira mais 2 mineradores, estes pagariam em cerca de 3 meses, não levando em conta o custo de peças pra reposição, insumos e manutenção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO; R.G; Analise de resistência de pilares de seção quadrada e retangular. 2013. 42f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.

BIENIAWSKI; Z.T; Ground Control, em: SME Mining Engineering Handbook 2º Edição, vol.1, capítulo 10.5, Ed. Howard L. Hartman, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, EUA, 1992.

BIENIAWSKI; Z.T; Rock mechanics design in mining and tunneling, 272 pág. A.A. Balkema Editora, Rotterdam, Holanda, 1984.

BORGES, T.C; Analise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013. 116f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto,2013.

CAMPANER, V.P; O carvão no município de Figueira/PR: Da Mineração a utilização. 2005. 81f. Monografia (Graduação em Geografia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

CURI, A; Lavra de Minas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FERNANDES, I. D.; MERGEL, N. M. D.; SÁNCHEZ, J. C. D. Amostragem e caracterização físico-química. In Meio Ambiente e Carvão: impactos da exploração e utilização. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM, 2002. p. 175-210.

GONÇALVEZ, V.A.B; Alocação de equipamentos de carregamento e transporte na mineração Usiminas por técnicas de programação linear. 2017. 74f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

LUZ, A.B; SAMPAIO, J.A; FRANÇA, S.C.A; Tratamento de Minérios. 5ªEdição. Rio de Janeiro. CETEM/MCT,2010.

MARK; C. Overview of ground control research for underground coal mines in the United States, NIOSH, 8p, 2001, Turkey.

MARK; C; CHASE; F.E; Analyses of retreat mining pillar stability (ARMPS), Proc. Of New Tech. for Ground Control in Retreat Mining, Dep. Of Health and Human Service – NIOSH, publication núm. 97-122, pág. 17-34, IC-9446, Pittsburg, PA, 1993.

OBERT; L; DUVALL; W.J; Rock Mechanics and design of structures in rock, John Wiley & Sons, 65 pág, Nova York, EUA, 1967.

PENG; S.S; Coal Mine Ground Control, 3º Edição, Syd Peng Ed. West Virginia University, Morgantown, WX, USA, 2007.

PENG; S.S; Coal Mine Ground Control. New York: John Wiley & Sons, 491p, 1986, New York.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. Geologia do Brasil. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1983, p. 119-134 e p. 187.

SALAMON; M.D.G; MUNRO; A.H; A Study of the Strength of Coal Pillars. Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, pg. 55-67. South Africa, 1967.

SALAMON; M.D.G; ORAVECZ; K.I; Rock mechanics in coal mining, Chamber of Mines of South Africa, 119 pág, Africa do Sul, 1976.

SALAMON; M.D.G; Strenght and stability of coal pillar, Proc. Of the Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design, pág. 94-424, Eds. Mark, Iannacchione e Jones Compile, US Bureau of Mines, EUA, 1992.

SALAMON; M.D.G; The role of pillars in mining, Em: Rock Mechanics in Mining Practice, cap.8, Editor-chefe Budavari, S, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 282 pág. Johannesburg, Africa do Sul, 1986.

STEIN, M; GUAZZELI, S.R; ZINGANO, A.C; KOPPE, J.C; Estimativa do comportamento mecânico da camada de carvão bonito em minas subterrâneas de santa catarina. 3º Congresso Brasileiro De Carvão Mineral, 2011, Gramado.

TECNOLOGIA: Minerador Contínuo Importado Dos Estados Unidos Recebe Adequações E Já Está Em Operação Na Rio Deserto. MOTA; F.P, Criciúma, 24 abril. 2020. Disponível em: <https://www.riodeserto.com.br/blog/13209-2/>

WEISS, A.L; SCHNEIDER, N.S.B; ZINGANO, A.C; Lavra de carvão pelo método câmaras e pilares em recuo – estudo de caso. CONTECC'2017, Belém.

ZINGANO, A.C; KOPPE, J.C; COSTA, J.F; Pilar-barreira entre painéis de lavra para a mina de carvão. REM: R.Esc. Minas, Ouro Preto, 60(2): 219-226. 2007.

ZORZI; L; AGOSTINI; I.M; GONZATTI; C; Metodologia para dimensionamento de pilares em minas de carvão do sul do Brasil, Boletim Técnico nº23, CIENTEC, Porto Alegre, Brasil, 1991.