

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Minas  
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais

Rodolfo Poeiras Salvador Silva

**ESTUDO DE CASO: UMA ANÁLISE FINANCEIRA SIMPLIFICADA  
ENTRE OS MÉTODOS DE LAVRA DE SUBLEVEL STOPING E  
CORTE E ENCHIMENTO EM UMA MINA SUBTERRÂNEA DE OURO**

Belo Horizonte

2022

Rodolfo Poeiras Salvador Silva

**ESTUDO DE CASO: UMA ANÁLISE FINANCEIRA SIMPLIFICADA ENTRE OS  
MÉTODOS DE LAVRA DE SUBLEVEL STOPING E CORTE E ENCHIMENTO EM  
UMA MINA SUBTERRÂNEA DE OURO**

Artigo apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais.

Orientador: Professor Pedro Henrique Alves Campos

Coorientador: Professor Michel Melo Oliveira

Belo Horizonte

2022



## ATA DA DEFESA DO ARTIGO DO ALUNO RODOLFO POEIRAS SALVADOR SILVA

Realizou-se, no dia 23 de setembro de 2022, às 15:30 horas, na Plataforma MEET, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de Artigo, intitulado "*ESTUDO DE CASO: UMA ANÁLISE FINANCEIRA SIMPLIFICADA ENTRE OS MÉTODOS DE LAVRA DE SUBLEVEL STOPING E CORTE E ENCHIMENTO EM UMA MINA SUBTERRÂNEA DE OURO*", apresentado por RODOLFO POEIRAS SALVADOR SILVA, número de registro 20207 20226, graduado no curso de ENGENHARIA DE MINAS, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Pedro Henrique Alves Campos (Universidade Federal de Minas) - Orientador, Professor Alizeibek Saleimen Nader (Universidade Federal de Minas Gerais), Professor Michel Melo de Oliveira (Universidade Federal de Minas Gerais).

A Comissão considerou a defesa do artigo:

Aprovada

Reprovada

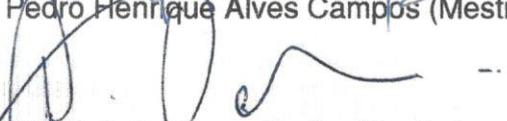
Nota: 90

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 23 de setembro de 2022.



Prof. Pedro Henrique Alves Campos (Mestre)

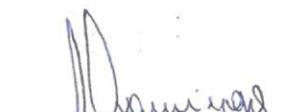


Prof. Alizeibek Saleimen Nader (Doutor)



Prof. Michel Melo Oliveira (Doutor)

  
Rislá Magriotis Papini  
Coordenadora do Curso de Especialização  
em Engenharia de Recursos Minerais

  
Aúrea Domingos  
Secretaria do Curso de Especialização  
em Engenharia de Recursos Minerais

## RESUMO

Em uma mina subterrânea de ouro no Brasil, lavrada por *sublevel stoping*, os problemas relacionados a alta diluição planejada são recorrentes em profundidade. Nesta condição, a mineralização apresenta uma espessura menor e um ângulo de mergulho mais suave, o que potencializa a diluição. Como iniciativa para propor soluções alternativas a este problema, este estudo avalia os resultados da lavra de três painéis lavrados por dois métodos de lavra diferentes: *sublevel stoping* e corte e enchimento.

A região avaliada no estudo é composta por três painéis de lavra. Estes foram gerados a partir do *Datamine Mineable Shapes Optimizer* e cubados no *Datamine Studio Underground*. Baseado nos custos, receitas e lucros, foi possível calcular o lucro anual e, então, estimar o valor presente líquido para cada cenário de lavra avaliado.

Os resultados apontaram que o método de lavra de corte e enchimento parece ser mais interessante do ponto de vista econômico e também mais seletivo. O estudo motiva a empresa a continuar estudando o corte e enchimento e também levanta outros pontos a serem estudados futuramente, como segurança, preparação operacional e disponibilidade de equipamentos.

**Palavras-chave:** mina subterrânea, lavra em *sublevel stoping*, lavra em corte e enchimento;

## **ABSTRACT**

In a Brazilian gold operating mine, where the mining is performed as sublevel stoping, problems related to high dilution started to occur in depth, as a consequence of mineralization changes, since the orebody is getting thinner and its angle downdip is getting smoother. As an initiative to propose alternative solutions to this dilution problem, this study assesses the mining of three panels with sublevel stoping and cut and fill mining for three panels. The assessment was done by comparing the economic results of the mining of the planned panels in accordance with both mining methods.

The panels assessed in the study were generated with Datamine Mineable Shape Optimizer and evaluated with Datamine Studio Underground. Based on the costs, gross revenue and profit, it was possible to calculate the annual profit and then estimate the net present value, of each mining scenario for comparison.

The results indicate that the cut and fill mining method seem to be more interesting from an economic point of view and that it is a more selective mining method. The assessment motivates the company to keep studying the cut and fill method and, for future comparisons and evaluations, other operational factor such as safety, operational readiness and equipment availability should be considered as well.

**Keywords:** underground mining, sublevel stoping mining, cut and fill mining;

## ***LISTA DE FIGURAS***

Figura 2-1: Ilustração <i>Sublevel Stopping</i> (Hamrin, 1986).....	12
Figura 3-1: Ilustração Corte e Enchimento (Hamrin, 1986).....	13
Figura 5-1: Seção Típica – <i>Sublevel Stopping</i> – Região Superior.....	14
Figura 5-2: Seção Típica – <i>Sublevel Stopping</i> – Região Inferior .....	15
Figura 5-3: Sólidos <i>Sublevel Stopping</i> .....	16
Figura 5-4: Sólidos Corte e Enchimento .....	16
Figura 5-5: Recuperação e Diluição .....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1: Dados de Entrada MSO.....	15
Tabela 5-2: Fatores Modificadores.....	17
Tabela 5-3: Taxa de Produção Anual .....	18
Tabela 5-4: Custos de Produção .....	18
Tabela 6-1: Resultados das Cubagens .....	20
Tabela 6-2: Análise Econômica – <i>Sublevel Stopping</i> .....	20
Tabela 6-3: Análise Econômica – Corte e Enchimento.....	21

## LISTA DE ABREVIACOES

TEXTO	ABREVIACO
Produto Interno Bruto	PIB
<i>Mineable Shapes Optimiser</i>	MSO
Onças	Oz
Ouro	Au
<i>Run-of-Mine</i>	ROM
<i>Underground</i>	UG
Valor Presente Líquido	VPL
Valor Presente Líquido Anualizado	VPLA

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>LAVRA EM SUBLEVEL STOPING.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>LAVRA EM CORTE E ENCHIMENTO.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>MINEABLE SHAPES OPTIMIZER.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
5.1	O PROBLEMA.....	14
5.2	PROPOSTA DE SOLUÇÃO.....	15
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>23</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade de grande relevância no contexto global, pois a maioria dos materiais metálicos e alguns outros elementos não metálicos são oriundos da extração mineral. Desta forma, a atividade minerária é responsável por uma parcela significativa da economia, contribuindo com diversos empregos de forma direta e indireta. Um bom exemplo da importância econômica da mineração é o Brasil, país no qual esta atividade representou, em 2021, aproximadamente 2,5% do seu Produto Interno Bruto (PIB), com a extração de mais de 80 diferentes tipos de minerais. De acordo com o Boletim do Setor Mineral (7ª ed. – 2022), a indústria mineral brasileira, incluindo mineração, metalurgia e transformação de não metálicos, foi responsável por empregar diretamente cerca 750 mil pessoas em 2020.

A extração mineral ocorre de fato após a realização de uma série de estudos que abrangem as áreas de geologia, hidrogeologia, mecânica de rochas, meio ambiente, social, financeira, engenharia e várias outras. De forma simplificada, todos estes estudos têm como objetivo avaliar se a extração de um determinado bem mineral é viável ou não. No caso da extração do bem mineral ser viável, este passa a ser denominado minério, conceito dado a uma concentração mineral que pode ser extraída, transformada em um produto comercializável e gerando lucro nas condições sócio-técnico-econômicas da época.

Uma das etapas dos estudos anteriormente mencionados deve abranger a avaliação do melhor método de lavra para o depósito em estudo. Esta avaliação deve considerar fatores como tipo e geometria da mineralização, características do maciço rochoso, tamanho da mina, segurança, condições político-sociais, mão de obra, processos de beneficiamento necessários e custos. No geral, existem 3 possibilidades de lavra mecânica para um depósito:

- i. lavra totalmente a céu aberto;
- ii. lavra totalmente subterrânea;
- iii. lavra com etapa inicial a céu aberto e posterior transição para lavra subterrânea;

Dentre os principais tipos de lavra mecânica a céu aberto existem a lavra em cava, lavra em encostas e lavra em tiras. Já a lavra subterrânea pode ser executada com os métodos de sublevel stoping, sublevel caving, block caving, longwall, câmaras e pilares e corte e enchimento.

Este estudo em questão tratará de uma mina subterrânea, em operação no Brasil, na qual a extração de minério de ouro é realizada por meio da lavra em *sublevel stoping*. Isto significa que, no passado, foram realizados estudos e avaliações que mostraram que nas condições da época este era o método mais adequado. No entanto, com o aprofundamento da mina, mudanças geológicas e geotécnicas impactaram negativamente a produção, sendo relatados problemas de alta diluição e baixa recuperação de lavra. Sendo assim, foi proposta uma reavaliação do método de lavra em uma determinada região da mina, com o objetivo de mitigar estes problemas.

A avaliação realizada neste estudo compara a produção de três painéis sendo lavrados pelo método de *sublevel stoping* e pelo método de corte e enchimento. De acordo com as premissas de cada método, foi rodado um cenário no *Mineable Shapes Optimizer* (MSO – “Otimizador de Formas Lavráveis” na tradução livre) da *Datamine*, para gerar os sólidos dos realces de lavra. Estes sólidos foram, então, cubados com o auxílio do *Datamine Studio Underground* (UG). A partir dos resultados da cubagem dos realces, das taxas de produção e dos custos históricos da mina, foi calculada a produção média anual, os custos operacionais, as receitas e os lucros de cada cenário. Com base nestes resultados econômicos, é possível fazer um comparativo e, assim, avaliar qual método seria mais vantajoso nestas condições.

## 2 LAVRA EM SUBLEVEL STOPING

De acordo com Villaescusa (2014), o método de *sublevel open stoping* é utilizado para lavrar grandes corpos de minério maciços ou tabulares, muitas vezes com mergulhos acentuados, cercados por rochas hospedeiras competentes, que apresentam poucas restrições quanto à forma, tamanho e continuidade da mineralização.

Segundo Hamrin (1986), no *sublevel stoping* o corpo de minério é dividido em diferentes realces (*stopes*) separados por pilares de sustentação. Os pilares verticais ao longo do corpo do minério são conhecidos como *rib pillars* e as seções horizontais de minério são conhecidas como pilares de soleira (*sill pillars*). Estes também são deixados para suportar a operação da mina acima dos realces em produção. O tamanho dos realces e dos pilares são dimensionados de acordo com a qualidade do maciço rochoso.

A Figura 2-1 ilustra um painel sendo lavrado em *sublevel stoping*:

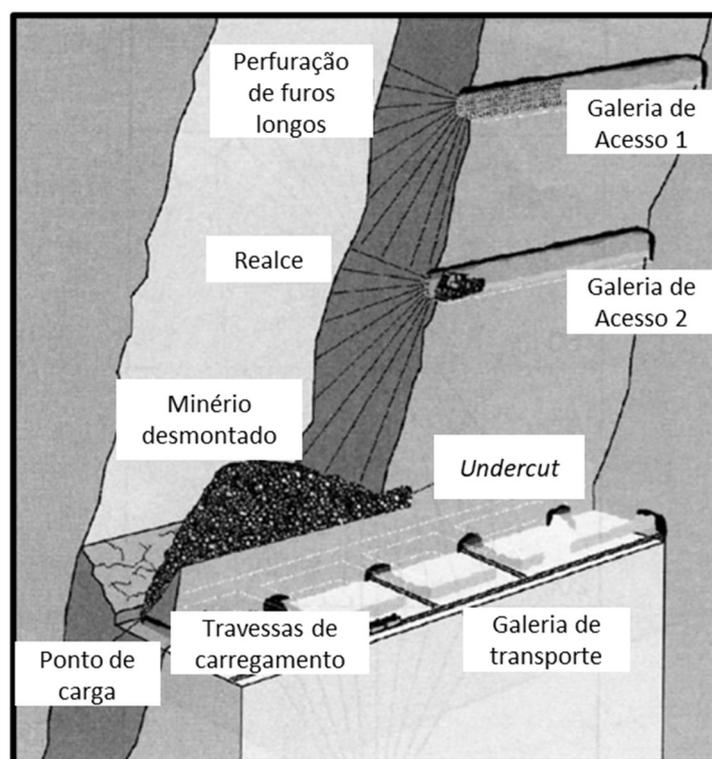


Figura 2-1: Ilustração *Sublevel Stopping* (Hamrin, 1986)

### 3 LAVRA EM CORTE E ENCHIMENTO

De acordo com Hamrin (1986), a lavra em corte e aterro é realizada em fatias horizontais, começando da parte inferior e avançando ascendentemente. O minério é perfurado, carregado e detonado e, quando o realce é extraído, os vazios são preenchidos com algum conteúdo hidráulico composto por estéril e/ou outros materiais.

O enchimento tem a função de apoiar as paredes do realce lavrado e formar uma plataforma com condições suficientes para operação de equipamentos na fatia superior a ser lavrada. A lavra de corte e aterro é usada em mineralizações com ângulo de mergulho acentuado, com estabilidade de boa a moderada e alto teor. Este método de lavra permite uma lavra mais seletiva, com recuperação de seções de alto teor e não recuperação de porções de baixos teores.

A Figura 3-1 ilustra um painel sendo lavrado em corte e enchimento:

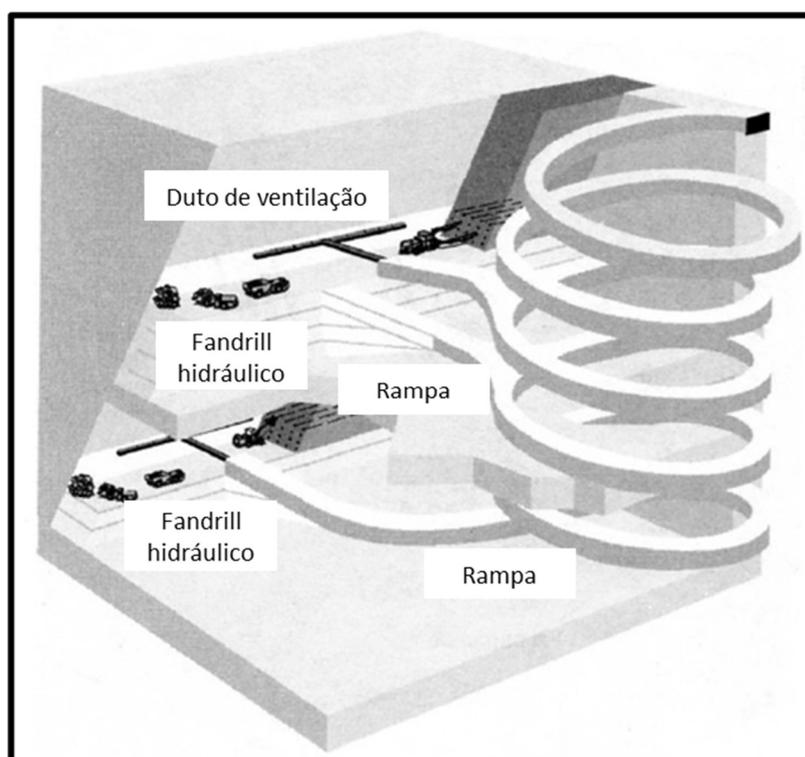


Figura 3-1: Ilustração Corte e Enchimento (Hamrin, 1986)

## 4 MINEABLE SHAPES OPTIMIZER

O MSO é o software da *Datamine* utilizado para gerar as geometrias dos realces de lavra a partir da informação geológica, usualmente encontrada no formato de um modelo de blocos.

Os algoritmos do MSO fazem uso das células e subcélulas deste modelo para definir a localização espacial da mineralização. As informações de ângulo de mergulho e direção da mineralização, larguras máxima e mínima do sólido, altura do sólido, espaçamento entre os realces e teor de corte são fornecidas ao MSO e, a partir destas, o software gera e avalia vários sólidos de acordo com os dados de teor do modelo de blocos e com as premissas econômicas assumidas, a fim de gerar sólidos que apresentam o melhor retorno econômico. De forma resumida, o MSO faz de forma ágil e estruturada o trabalho de um designer de realces.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 O PROBLEMA

A mineralização da mina estudada apresenta variações geométricas à medida que a profundidade aumenta. A espessura média do corpo mineralizado é cada vez menor e o ângulo de mergulho do corpo é cada vez mais suave. Em porções superiores da mina, a espessura média para este corpo em questão é de 4 metros e seu ângulo de mergulho é  $32^\circ$  (Figura 5-1). Já na região avaliada, a espessura média é de 2 m e o ângulo de mergulho é de  $25^\circ$  (Figura 5-2).

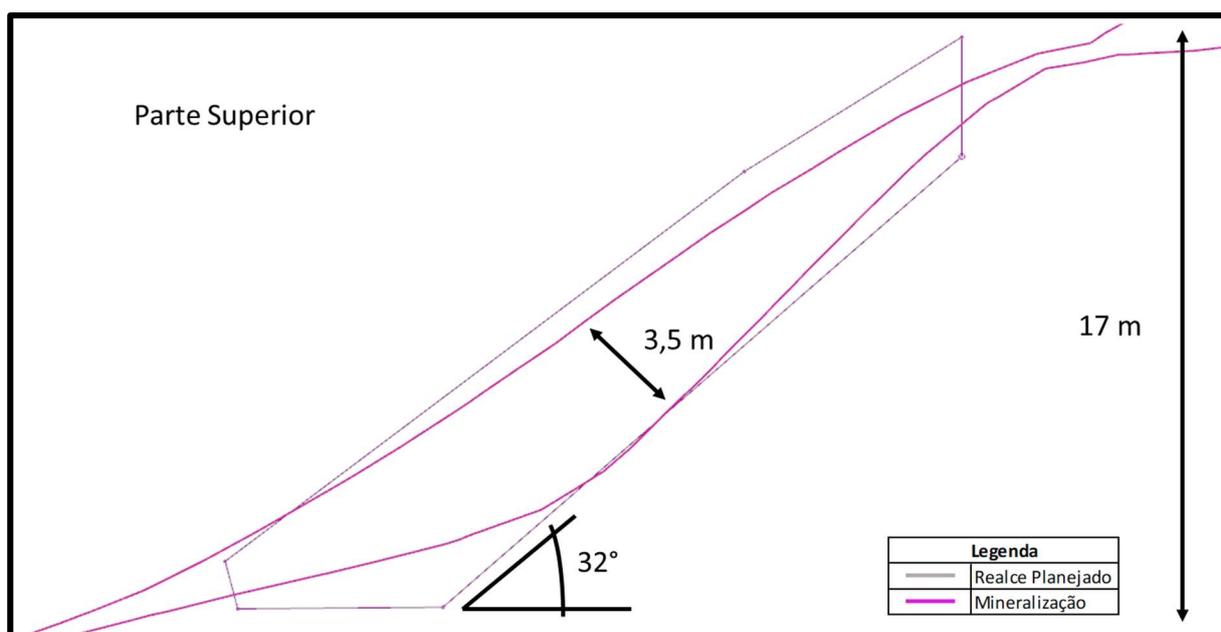


Figura 5-1: Seção Típica – *Sublevel Stopping* – Região Superior

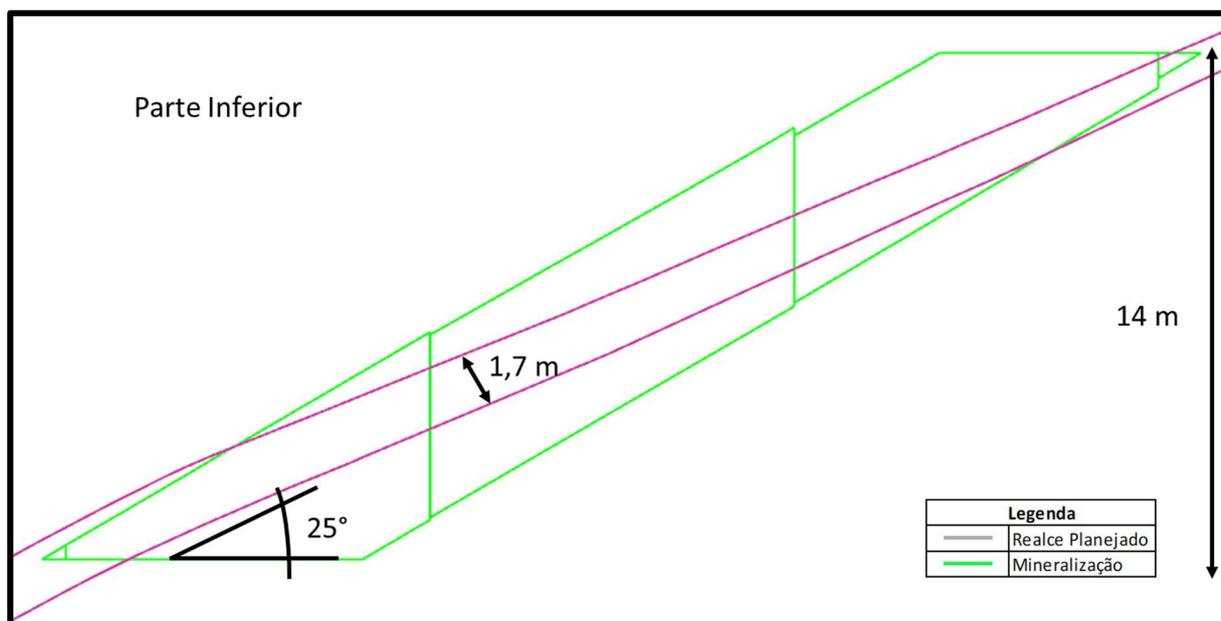


Figura 5-2: Seção Típica – *Sublevel Stopping* – Região Inferior

Com o atual método de lavra *sublevel stopping*, estas variações resultaram em problemas de alta diluição planejada e penalizaram a conversão de Recurso para Reserva.

## 5.2 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Na tentativa de encontrar uma solução para o problema apresentado, foi proposto avaliar três painéis de lavra de acordo com dois diferentes métodos de lavra, o *sublevel stopping*, atualmente praticado na mina, e o corte e enchimento.

A primeira etapa do estudo foi a geração dos sólidos de lavra para cada um dos métodos mencionados, no *Datamine* MSO. Para tanto, foi preciso configurar o software com as informações de ângulo de mergulho, direção da mineralização, larguras máxima e mínima, ângulos de variação da parede, alturas máxima e mínimas, espaçamento entre os realces e teor de corte. A tabela apresenta os valores utilizados em cada um dos cenários:

Tabela 5-1: Dados de Entrada MSO

ITEM	SUBLEVEL STOPPING	CORTE E ENCHIMENTO
Ângulo de Mergulho	37°	37°
Direção da Mineralização	20°	20°
Larguras Mínima e Máxima do Sólido	1,8 m / 25 m	3 m / 5 m
Altura do Sólido	14 m	3 m
Espaçamento entre Sólidos	5 m	10 m
Teor de Corte	1,81 g/t Au	2,34 g/t Au

Os resultados do MSO são apresentados nas Figura 5-3 e Figura 5-4. Em azul tem-se os sólidos do *sublevel stoping* e, em verde, os sólidos do corte e enchimento.

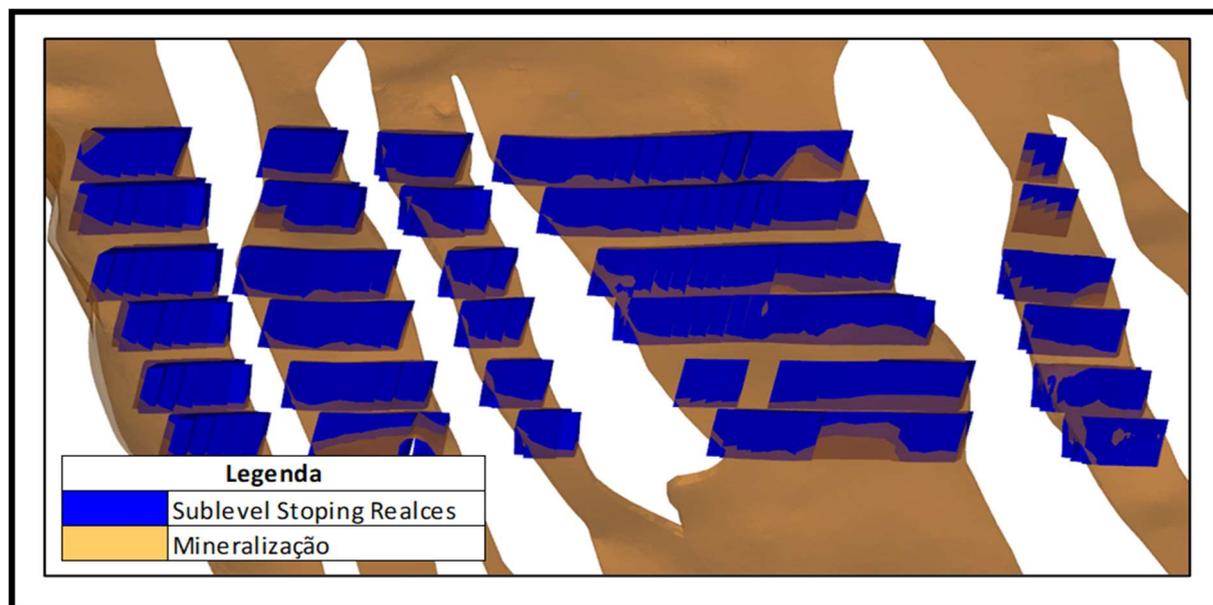


Figura 5-3: Sólidos *Sublevel Stopping*

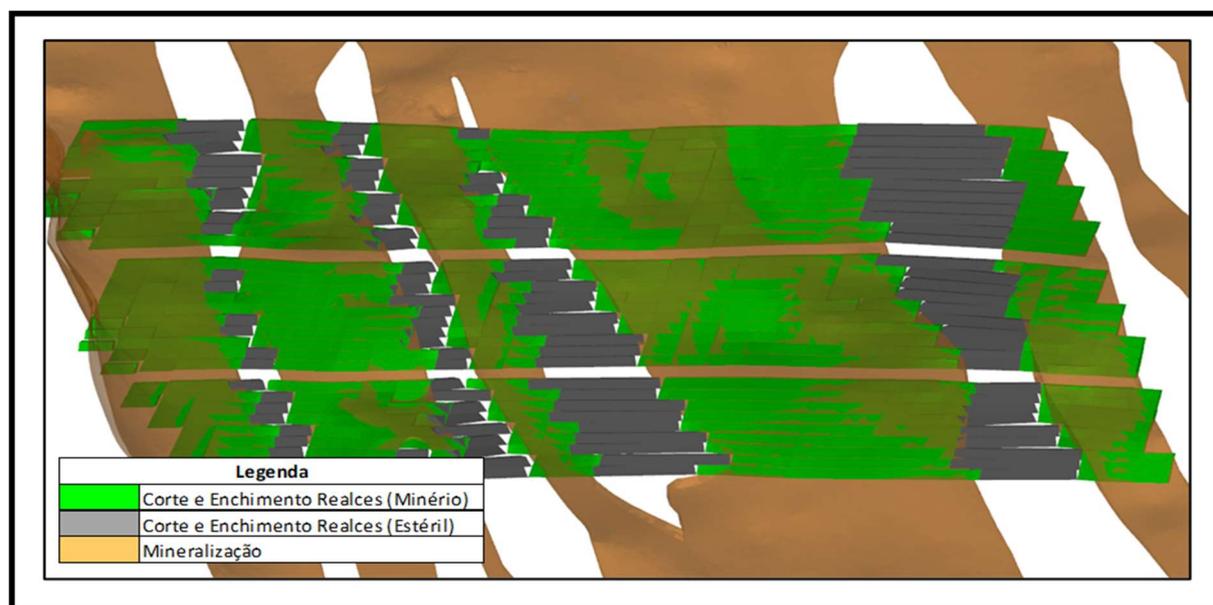


Figura 5-4: Sólidos Corte e Enchimento

Após a etapa do MSO, os sólidos gerados foram cubados no *Studio UG*, por meio da ferramenta *Wireframe Dynamic Evaluation* e com base no modelo de blocos geológico. O objetivo desta cubagem foi obter a massa e teor de Ouro (Au) do material que seria extraído

com a lavra destes blocos. Aos resultados da cubagem foram aplicados os fatores modificadores de diluição operacional e recuperação de lavra, conforme apresentado na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Fatores Modificadores

FATOR MODIFICADOR	SUBLEVEL STOPPING	CORTE E ENCHIMENTO
Diluição Operacional de Lavra	25%	25%
Recuperação de Lavra	85%	90%

Estes fatores modificadores foram obtidos a partir do banco de dados da empresa e representam a média dos valores históricos de produção da mina em questão, para cada um dos métodos de lavra apresentados.

A diluição operacional de lavra está relacionada ao estéril e minério não planejados nos limites dos blocos de lavra, mas que acabam se misturando ao material planejado durante a detonação e carregamento. A recuperação de lavra é a porcentagem de material recuperado do bloco planejado após o desmonte. As condições geotécnicas (resistência do maciço, falhas etc.) e operacionais (condição do equipamento, desvio do furo, carga de explosivo etc.) influenciam diretamente nestes fatores. A Figura 5-5 apresenta um exemplo prático destes conceitos:

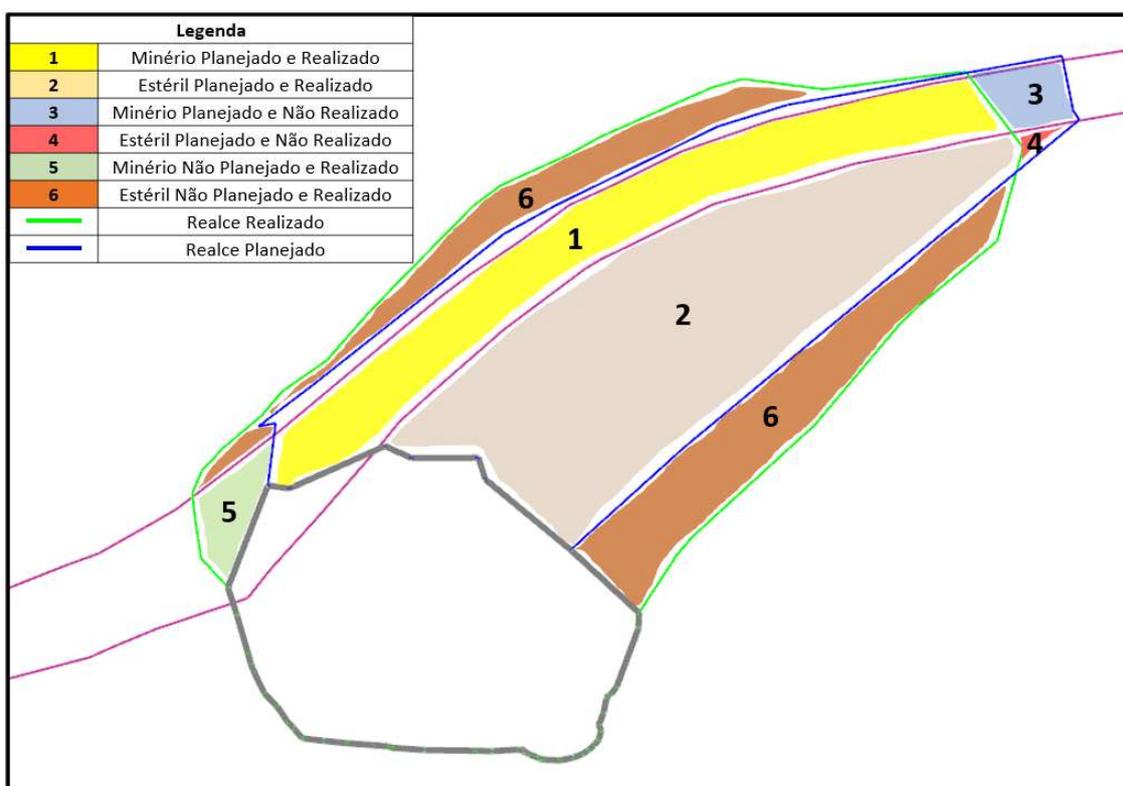


Figura 5-5: Recuperação e Diluição

As regiões 1 e 2 representam a recuperação de lavra e as regiões 3 e 4 representam o que não foi recuperado dentro do realce planejado. Já as regiões 5 e 6 indicam as áreas de diluição operacional.

A próxima etapa do trabalho foi a avaliação econômica. Para tanto, foi preciso calcular quantos anos cada cenário seria capaz de produzir, em média, nos painéis avaliados. Esta estimativa foi feita a partir da razão entre os resultados da cubagem, aplicados os fatores modificadores, e taxa de produção anual de cada método de lavra (Tabela 5-3). Esta taxa também foi obtida a partir do banco de dados da empresa, contemplando informações históricas da mina em questões e de outros empreendimentos da companhia.

Tabela 5-3: Taxa de Produção Anual

ITEM	SUBLEVEL STOPING	CORTE E ENCHIMENTO
<b>Taxa de Produção (t/ano)</b>	72 000	38 400

Com base na produção média, nos custos de produção por tonelada de Run-of-Mine (ROM) lavrado de cada método de lavra (Tabela 5-4) e no preço do ouro, foi possível calcular, de forma simplificada, as receitas, os custos e os lucros anuais de cada cenário e, assim, estimar o valor presente líquido (VPL) e o valor presente líquido anualizado (VPLA). A taxa de retorno ou taxa de desconto aplicada para as estimativas de VPL e VPLA foi de 10%.

Tabela 5-4: Custos de Produção

CUSTOS DE PRODUÇÃO (US\$/t)	SUBLEVEL STOPING	CORTE E ENCHIMENTO
Lavra	43	61
Processamento	30	30
G&A + Exploração + Outros	15	15
Impostos + Custos de Venda	3	3
Desenvolvimento	43	67
<b>TOTAL</b>	<b>134</b>	<b>176</b>

Os custos de produção foram obtidos a partir do banco de dados da empresa, contemplando informações históricas da mina em questão e de outros empreendimentos da companhia. E o preço de venda do ouro de US\$1700/Oz foi retirado da previsão do Banco Mundial, para 2023, divulgada no *World Bank Commodities Price Forecast* (2022).

As equações na sequência apresentam como foram calculadas as Onças (Oz) de ouro, as receitas brutas, os custos de produção totais, os fluxos de caixa anuais, os fluxos de caixa atualizados anuais, o VPL e o VPLA de cada cenário.

$$\text{Onças (Oz)} = [\text{Massa de ROM (t)} \times \text{Teor de Au (g/t)}] / [31,1035 \text{ (g/Oz)}] \quad \text{(I)}$$

$$\text{Receita Bruta (US\$)} = \text{Onças (Oz)} \times \text{Preço do Ouro (US\$/Oz)} \quad \text{(II)}$$

$$\text{Custo de Produção Total (US\$)} = \text{Massa ROM (t)} \times \text{Custo de Produção (US\$/t)} \quad \text{(III)}$$

$$\text{Fluxo de Caixa (US\$)} = \text{Receita Bruta (US\$)} - \text{Custo de Produção Total (US\$)} \quad \text{(IV)}$$

$$\text{Fluxo de Caixa Atualizado (US\$)} = \frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1+\text{Taxa de Desconto})^{\text{tempo(anos)}}} \quad \text{(V)}$$

$$\text{VPL} = \sum \frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1+\text{Taxa de Desconto})^{\text{tempo(anos)}}} - \text{Investimento Inicial} \quad \text{(VI)}$$

$$\text{VPLA} = \text{Valor Presente Líquido} \times \left( \frac{\text{Taxa de Desconto} \times (1+\text{Taxa de Desconto})^{\text{tempo(anos)}}}{(1+\text{Taxa de Desconto})^{\text{tempo(anos)}} - 1} \right) \quad \text{(VII)}$$

Para obter o VPL é necessário calcular o Fluxo de Caixa Atualizado, que consiste em calcular o fluxo de caixa de um determinado período e dividi-lo por um mais a taxa de desconto, elevado à potência do período em questão, conforme apresentado na equação V. O VPL será o somatório dos Fluxos de Caixa Atualizados para o período sendo avaliado.

Já o VPLA é calculado a partir da equação VII. De acordo com Reis (2019), “o VPLA é uma métrica de análise de viabilidade que informa o retorno de um investimento com base anual”. Assim, é possível dizer que o VPLA é similar ao VPL, pois traz para o valor presente os retornos futuros, porém essa métrica transforma o fluxo de caixa do investimento em uma série de valores anuais constantes.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela apresenta a cubagem dos sólidos de lavra avaliados no estudo, já considerando os fatores modificadores.

Tabela 6-1: Resultados das Cubagens

ITEM	SUBLEVEL STOPING	CORTE E ENCHIMENTO
Massa de ROM (t)	494 392	312 676
Teor de Au (g/t)	3.11	4.90
Oz	49 434	49 259

O método de *sublevel stoping* apresentou uma massa de ROM total de 494.392 t, a um teor de 3,11 g/t de Au; resultando em um total de 49.434 Oz. Considerando a produção média deste método, de 72.000 t ROM/mês, a lavra destes 3 painéis demoraria 7 anos para ocorrer. Já o método de corte enchimento, apresentou uma massa de ROM total de 312.676 t, a um teor de 4,90 g/t de Au, gerando um total de 49.259 Oz. Com uma produção média de 38.400 t ROM/mês, a lavra dos 3 painéis, de forma consecutiva, duraria 9 anos com o corte e enchimento.

Os resultados das análises econômicas dos cenários avaliados no trabalho são apresentados na Tabela 6-2 e na Tabela 6-3:

Tabela 6-2: Análise Econômica – *Sublevel Stopping*

ITEM		ANO							TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	
a	Massa ROM (t)	72,000	72,000	72,000	72,000	72,000	72,000	62,392	494,392
b	Teor de Ouro (g/t)	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11
c = (a * b) / (31.1035)	Oz	7,199	7,199	7,199	7,199	7,199	7,199	6,238	49,434
d	Preço do Ouro (US\$/Oz)	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
e = c * d	Receita Bruta (US\$)	12,238,623	12,238,623	12,238,623	12,238,623	12,238,623	12,238,623	10,605,446	84,037,182
f	Custo de Produção (US\$/t)	134	134	134	134	134	134	134	134
g = a * f	Custo Total de Produção (US\$)	9,648,000	9,648,000	9,648,000	9,648,000	9,648,000	9,648,000	8,360,528	66,248,528
h = e - g	Fluxo de Caixa (US\$)	2,590,623	2,590,623	2,590,623	2,590,623	2,590,623	2,590,623	2,244,918	17,788,654
i = (h) / [(1+taxa) <sup>ANO</sup> ]	Fluxo de Caixa Atualizado (US\$)	2,355,112	2,141,010	1,946,373	1,769,430	1,608,573	1,462,339	1,151,998	12,434,835
j = somatório linha i	VPL (@ 10% a.a.)	12,434,835							
k = j * [(1+taxa) <sup>ano final</sup> / ((1+taxa) <sup>ano final</sup> - 1)]	VPLA (@ 10% a.a.)	2,554,184							
Taxa de Desconto (a.a.)		10%							
Ano Final		7							

Tabela 6-3: Análise Econômica – Corte e Enchimento

ITEM	ANO									TOTAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
a	Massa ROM (t)	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	38,400	5,476	312,676
b	Teor de Ouro (g/t)	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
c = (a * b) / (31.1035)	Oz	6,049	6,049	6,049	6,049	6,049	6,049	6,049	6,049	863	49,259
d	Preço do Ouro (US\$/Oz)	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
e = c * d	Receita Bruta (US\$)	10,284,116	10,284,116	10,284,116	10,284,116	10,284,116	10,284,116	10,284,116	10,284,116	1,466,558	83,739,485
f	Custo de Produção (US\$/t)	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
g = a * f	Custo Total de Produção (US\$)	6,758,400	6,758,400	6,758,400	6,758,400	6,758,400	6,758,400	6,758,400	6,758,400	963,776	55,030,976
h = e - g	Fluxo de Caixa (US\$)	3,525,716	3,525,716	3,525,716	3,525,716	3,525,716	3,525,716	3,525,716	3,525,716	502,782	28,708,509
i = (h) / ((1+taxa) <sup>ANO</sup> )	Fluxo de Caixa Atualizado (US\$)	3,205,196	2,913,815	2,648,923	2,408,111	2,189,192	1,990,175	1,809,250	1,644,773	213,229	19,022,663
j = somatório linha i	VPL (@ 10% a.a.)	19,022,663									
k = j * (((taxa*(1+taxa) <sup>ano final</sup> )/((1+taxa) <sup>ano final</sup> -1)))	VPLA (@ 10% a.a.)	3,303,105									
Taxa de Desconto (a.a)		10%									
Ano Final		9									

Diante das condições estabelecidas, o VPL do cenário de lavra com *sublevel stoping* foi de US\$12.434.835, enquanto o do cenário com corte e enchimento foi de US\$19.022.663. Já o VPLA do *sublevel stoping* foi de US\$2.554.184 contra um VPLA de US\$3.303.105 do cenário de corte e enchimento.

Os resultados indicam que a lavra em corte e aterro se mostra mais viável, mesmo com uma taxa de produção 47% menor. No entanto, isto não se reflete na produção em Onças, que é apenas 16% menor. Isso é resultado de uma lavra mais seletiva e, conseqüentemente, com uma menor diluição.

É importante ressaltar que esta avaliação foi feita de forma simplificada, levando em consideração apenas a geometria dos realces de lavra e não considerando o desenvolvimento para acessar estes realces de forma física. O desenvolvimento foi contabilizado apenas na forma de custo na avaliação econômica.

Além disso, outros fatores que também são importantes na mina, como segurança, preparação operacional e disponibilidade de equipamentos foram deixados de lado nesta avaliação. O método de corte e enchimento do ponto de vista de segurança apresenta maiores riscos operacionais, pois passa-se a trabalhar dentro uma região já lavrada, o que não ocorre no *sublevel stoping*. Quanto à preparação operacional, a mina hoje trabalha com *sublevel stoping* e possui profissionais qualificados para executar este tipo de operação e isto é um fator facilitador para este método.

Caso ocorra uma mudança do método de lavra, seria preciso capacitar e preparar a equipe para a prática do corte e enchimento, o que inicialmente poderia impactar a produção da mina, pois seria necessário um ramp-up operacional até atingir a capacidade máxima de produção com este método. Além disso, seria recomendada uma reavaliação dos equipamentos da mina, pois uma alteração do método de lavra pode implicar em diferentes tipos e quantidades de equipamentos.

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados de produção para o método de corte e enchimento mostraram-se mais interessantes do que os resultados do *sublevel stoping*, entregando a mesma quantidade de Onças, aproximadamente 49 kOz, e uma massa de ROM com quase 180 kt a menos. No entanto, a taxa de extração do corte enchimento (38,4 kt ROM/ano) é menor do que o *sublevel stoping* (72,0 kt ROM/ano) e isso poderia ter um impacto negativo na análise econômica, pois gasta-se mais tempo em lavra com os painéis com corte e enchimento.

A análise econômica mostrou o contrário, mesmo com custos unitários maiores e com uma produção mais demorada, o corte e enchimento apresentou VPL e VPLA maiores do que o *sublevel stoping*. Neste caso é mais adequado fazer a comparação entre os dois métodos pelo VPLA, pois o tempo de duração dos dois cenários é diferente. Os melhores resultados do corte e enchimento se justificam por ser uma lavra seletiva. Em outras palavras, o *sublevel stoping* ocasiona uma maior diluição planejada, o que pode ser observado pelo teor médio da lavra dos três painéis. O teor médio do cenário com *sublevel stoping* é bem menor do que o corte enchimento.

Com base nestes resultados, é possível dizer que o método de lavra de corte e enchimento é mais atrativo do ponto de vista econômico. Desta forma, é interessante que a empresa continue avançando com estudos relacionados a diferentes métodos de lavra e passe também a considerar outros fatores em avaliações futuras como segurança, preparação operacional, disponibilidade de equipamentos, entre outros.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 7ª edição do Boletim do Setor Mineral. Gov.br, 3 mar. 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/boletim-do-setor-mineral/boletim\\_sgm\\_dez2021\\_digital\\_7-edicao.pdf/view](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/boletim-do-setor-mineral/boletim_sgm_dez2021_digital_7-edicao.pdf/view). Acesso em: 21 maio 2022.
- b. VILLAESCUSA, Ernesto. Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping. 1. ed. United States: Taylor & Francis Group, 2014. 542 p.
- c. HAMRIN, Hans. Guide to Underground Mining: Methods and Applications. 3. ed. Stockholm, Sweden: Atlas Copco, 1986.
- d. WORLD BANK. World Bank Commodities Price Forecast. [S. l.]: World Bank, 26 abr. 2022.
- e. REIS, Tiago. VPLa: entenda mais sobre essa métrica de análise de investimentos. Suno, [S. l.], p. 1-1, 28 jun. 2019. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/vpla/>. Acesso em: 15 out. 2022.