

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Mestrado Profissional

Raphael Fonseca Santos

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA  
FLEXIBILIZAÇÃO OPERACIONAL E APROVEITAMENTO DOS  
MINÉRIOS E FRENTES MARGINAIS EM UMA MINA SUBTERRÂNEA**

Belo Horizonte

2022

Raphael Fonseca Santos

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA FLEXIBILIZAÇÃO  
OPERACIONAL E APROVEITAMENTO DOS MINÉRIOS E FRENTES  
MARGINAIS EM UMA MINA SUBTERRÂNEA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas – Mestrado Profissional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Alizeibek Saleimen  
Nader

Coorientador: Prof. Dr. Michel Melo  
Oliveira

Belo Horizonte  
2022

S237m Santos, Raphael Fonseca.  
Metodologia de avaliação econômica para flexibilização operacional e aproveitamento dos minérios e frentes marginais em uma mina subterrânea [recurso eletrônico] / Raphael Fonseca Santos. – 2022.  
1 recurso online (99 f.: il., color.): pdf.

Orientador: Alizebeck Saleimen Nader.  
Coorientador: Michel Melo Oliveira.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 95-99.

Bibliografia: f. 92-94.  
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de minas - Teses. 2. Tecnologia mineral - Teses.  
3. Minas subterrâneas - Teses. 4. Minas e mineração - Custo operacional - Teses. I. Nader, Alizebeck Saleimen. II. Oliveira, Michel Melo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.  
CDU: 622(043)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica,  
Materiais e de Minas da UFMG - Mestrado Profissional

**UFMG**

***METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA  
FLEXIBILIZAÇÃO OPERACIONAL E APROVEITAMENTO DOS MINÉRIOS E  
FRENTES MARGINAIS EM UMA MINA SUBTERRÂNEA***

**RAPHAEL FONSECA SANTOS**

Dissertação de mestrado submetida à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da UFMG – Mestrado Profissional da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.

Aprovada em 31 de agosto de 2022.

Por:

---

**Prof. ALIZEIBEK SALEIMEN NADER (UFMG)**  
**Orientador**

---

**Prof. MICHEL MELO OLIVEIRA (UFMG)**  
**Coorientador**

---

**Prof. DOUGLAS MAZZINGHY (UFMG)**

---

**Prof. PEDRO BENEDITO CASAGRANDE (UFMG)**

Ao Deus triúno, em quem vivemos, nos  
movemos e existimos.

À minha esposa, Arianne Fernandes,  
maior motivadora, textura intrigante e rico  
sabor da existência.

## RESUMO

Estruturas de negócio cada vez mais exigem esforço criativo, desenvolvimento tecnológico e de engenharia, assim como, constante revisão crítica das práticas existentes, buscando maximização do retorno financeiro e minimização dos negativos impactos socioambientais entre os envolvidos. No contexto mineiro, esta demanda não é diferente.

Projetos de mineração precisam apresentar atratividade de negócio, o que requer elevada performance técnica e de gestão. As costumeiras oscilações dos preços das commodities pressionam os projetos a ponto de torná-los economicamente inviáveis ou pouco atrativos, portanto, uma série de riscos e oportunidades precisam ser avaliados com devido cuidado e atenção.

A presente pesquisa tem por objetivo apresentar uma metodologia de avaliação econômica para minas subterrâneas, com foco no aproveitamento dos minérios e frentes marginais para aumento da flexibilidade e margem financeira do negócio.

Contudo, pretende-se detalhar os custos de produção, conforme o tipo (SIB, G&A, fixos e variáveis) e localização (Lavra, desenvolvimento, planta metalúrgica), fazer cálculo do teor de corte padrão e marginal, avaliar economicamente uma mina subterrânea, identificar os gargalos e ociosidades operacionais, classificar em nível técnico/econômico as opções marginais, e comparar financeiramente os planos de produção sequenciados.

O aproveitamento racional e metodológico dos minérios marginais proporcionou maximização financeira do empreendimento mineiro, com redução de 5.5% no AISC e incremento de 16.3% na receita, melhorando a flexibilidade operacional e a utilização dos recursos instalados.

**Palavras chaves:** Mina subterrânea; Avaliação Econômica; Teor de corte; Minérios marginais; Fatores Modificadores.

## **ABSTRACT**

Business structures increasingly require creative effort, technological and engineering development, as well as a constant critical review of existing practices, seeking to maximize financial returns and minimize negative socio-environmental impacts among those involved. In the mining context, this demand is no different.

Mining projects need to be attractive in terms of business, which requires high technical and management performance. The usual fluctuations in commodity prices put pressure on projects till the point of making them economically unviable or unattractive, therefore, a series of risks and opportunities need to be evaluated with due care and attention.

The present research aims to present an economic evaluation methodology for underground mines, focusing on the use of ore and marginal fronts to increase the flexibility and financial margin of the business.

However, it is intended to detail the production costs, according to the type (SIB, G&A, fixed and variable) and location (Stope, development and metallurgical plant), calculate the standard and marginal cutoff grade, economically evaluate an underground mine, identify bottlenecks and operational idleness, classify the marginal options at a technical/economic level and financially compare sequenced production plan.

The rational and methodological use of marginal ores provide financial maximization of the mining enterprise, with 5.5% reduction in AISC and 16.3% increase in revenue, improving operational flexibility and the use of installed resources.

**Key Words:** **Underground mine;** Economic Evaluation; Cut Grade; Marginal Ores; Modifying Factors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Carta do jazimento aurífero de Djebel-Elba, no Egito, há mais de 2000 anos (DOROKHINE <i>et al</i> , 1967 <i>apud</i> CURI, 2014:11).....	22
Figura 02: Pequena mina de carvão em West Virginia, em 1908 (GONZALEZ, 2018).....	24
Figura 03: Distribuição global de minerais minerados baseados no valor da quantidade minerada (ATLAS COPCO, 2014:08).....	25
Figura 04: Mineração subterrânea - Era moderna ou idade nuclear (EXAME, 2020) .....	25
Figura 05: Quantidade total dos materiais minerados no mundo por operações de mina a céu aberto e subterrânea (ATLAS COPCO, 2014:09).....	27
Figura 06: Estrutura geral de uma mina subterrânea (ATLAS COPCO, 2014:30).....	29
Figura 07: Infraestrutura básica de uma mina subterrânea (ATLAS COPCO, 2014:31) .....	30
Figura 08: Aspectos geotécnicos e método de lavra subterrânea (Adaptado de CURI, 2017:260).....	32
Figura 09: Padrão de perfuração e carregamento e subníveis (KARMIS <i>et al</i> , 1992 <i>apud</i> VIANA, 2019) .....	35
Figura 10: Abertura de Realce utilizando furos longos (HAMRIN, 1986 <i>apud</i> CURI, 2017).....	36
Figura 11: Relação entre Recurso e Reserva (JORC, 2012) .....	38
Figura 12: Estimativa de preço pela consultoria S&P (Modificado de ANGLOGOLD, 2021:02).....	43
Figura 13: Histórico do preço do ouro e da prata – dezembro de 2016 a maio de 2021 (ANGLOGOLD, 2021:03) .....	43



Figura 14: Simulação do preço de ouro usando MGB (Adaptado de BARR, 2012 apud CHANGANANE, 2017).....	44
Figura 15: Simulação do preço de ouro usando MRM (Adaptado de BARR, 2012 apud CHANGANANE, 2017).....	44
Figura 16: Comportamento dos custos variáveis (CARARETO <i>et al</i> , 2006 apud CHANGANANE, 2017:10).....	47
Figura 17: Comportamento dos custos fixos (CARARETO <i>et al</i> , 2006 apud CHANGANANE, 2017:10).....	47
Figura 18: Fluxo de trabalho para publicação de Reservas. (Elaboração Própria) ...	61
Figura 19: Validação qualitativa do modelo de blocos – Posicionamento dos tipos de rochas: Oxidado, transição e sulfetado (Elaboração Própria) .....	64
Figura 20: Preço do ouro e taxa de câmbio para avaliação econômica dos ativos (Modificado de Guideline AGA – Recurso e Reservas 2021).....	64
Figura 21: MCF – Histórico 24 meses circuito sulfetado. (Elaboração Própria) .....	66
Figura 22: Diluição Operacional em função da espessura do realce. (Elaboração Própria).....	67
Figura 23: Fluxo de Análise (Elaboração Própria).....	69
Figura 24: Exemplo do posicionamento dos minérios e frentes marginais em uma mina subterrânea (Elaboração Própria) .....	71
Figura 25: Classificação dos custos operacionais (Elaboração Própria).....	72
Figura 26: Layout – Mina1: Corpos Carvoaria e Laranjeiras – Painéis 05 a 09 (Elaboração Própria) .....	74
Figura 27: Capacidade e Produção da planta Metalúrgica – Cenário 01 (Elaboração Própria).....	77
Figura 28: Capacidade e Produção da lavra – Cenário 01 (Elaboração Própria).....	77

Figura 29: Capacidade e Produção do desenvolvimento – Cenário 01 (Elaboração Própria) .....	77
Figura 30: Capacidade e Produção da planta metalúrgica – Cenário 01 e 05 (Elaboração Própria) .....	81
Figura 31: Capacidade e Produção da lavra – Cenário 01 e 05 (Elaboração Própria) .....	81
Figura 32: Capacidade e Produção do desenvolvimento – Cenário 01 e 05 (Elaboração Própria).....	81
Figura 33: Plano de produção 12 meses – cenário 1 (Elaboração Própria) .....	82
Figura 34: Plano de produção 12 meses – cenário 5 (Elaboração Própria) .....	82
Figura 35: Detalhe das frentes marginais incluídas no CEN 06 (Elaboração Própria) .....	84
Figura 36: Capacidade e Produção da planta metalúrgica – Cenários 01, 05, 06 e 07 (Elaboração Própria) .....	85
Figura 37: Capacidade e Produção da lavra – Cenários 01, 05, 06 e 07 (Elaboração Própria) .....	86
Figura 38: Capacidade e Produção do desenvolvimento – Cenários 01, 05, 06 e 07 (Elaboração Própria) .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela I: Método de lavra subterrânea versus parâmetros operacionais (Adaptado de CURI, 2017) .....	34
Tabela II: Custos de capital, categorias e suas precisões de estimativa (CBRR, 2016:49) .....	50
Tabela III: Custos operacionais, categorias e suas precisões de estimativa (CBRR, 2016:50) .....	51
Tabela IV: Custos e suas localizações para o cálculo do teor de corte (Modificado de ANGLOGOLD, 2014:07.....	55
Tabela V: Diagrama de fluxo de caixa anual (Adaptado de SOUZA, 2009:10) .....	58
Tabela VI: Distribuição do FC de capital próprio: Diagrama de fluxo de caixa anual (Adaptado de SOUZA, 2009:23).....	59
Tabela VII: Validação quantitativa do modelo de blocos (Elaboração Própria) .....	64
Tabela VIII: Exemplo de parte dos parâmetros geotécnicos – CV/LJ (Elaboração Própria).....	65
Tabela IX: Teor de Corte padrão e Marginal (Elaboração Própria) .....	73
Tabela X: Plano de Produção Mensal - Cenário 01 – Base (Elaboração Própria) ....	76
Tabela XI: Fluxo de Caixa – Cenário 01 - Base (Elaboração Própria) .....	78
Tabela XII: Comparativo de Produção e Financeiro entre os cenários 01 a 05 (Elaboração Própria) .....	79
Tabela XIII: Frentes independentes opcionais que operam em margem negativa (Elaboração Própria) .....	83
Tabela XIV: Comparativo de Produção e Financeiro entre os cenários 01 a 07 (Elaboração Própria) .....	85

Tabela XV: Plano de Produção Mensal – Cenário 06 – Mais atrativo (Elaboração Própria) .....	88
Tabela XVI: Fluxo de Caixa – Cenário 06 – Mais atrativo (Elaboração Própria) .....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGA	AngloGold Ashanti
AISC	Todos os custos de sustentabilidade do negócio
ANFO	Explosivo a base de hidrocarbonetos e nitrato de amônio
CAPEX	Custo de capital
CV	Corpo Carvoaria
FC	Fluxo de Caixa
G&A	Custos Gerais e Administrativos
LHD	Carregadeira articulada subterrânea
LJ	Corpo Laranjeiras
MCF	Fator de mina
MGB	Movimento geométrico Browniano
MRM	Movimento de reversão à média
OPEX	Custos Operacionais
CAPEX	Investimentos ou custos de capital
PR	Período de Retorno
SIB	Custos de capital para sustentabilidade do negócio
TIR	Taxa interna de retorno
VPL	Valor presente líquido

## **LISTA DE APÊNDICES**

APÊNDICE 1 - DESCRIÇÃO DOS ARQUIVOS UTILIZADOS NA PESQUISA

APÊNDICE 2 - GLOSSÁRIO

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Mineração</b> .....	<b>21</b>
2.1.1 Uma breve história .....	21
2.1.2 Mineração Subterrânea .....	26
2.1.3 Métodos de Lavra Subterrânea .....	30
2.1.3.1 Método de Lavra por Subníveis (Sublevel Stopping) .....	34
<b>2.1 Reserva mineral e seus fatores modificadores</b> .....	<b>37</b>
2.2.1 Fatores Modificadores Econômicos .....	41
2.2.1.1 Preço das Commodities .....	42
2.2.1.2 Custos e suas classificações.....	46
2.2.1.3 Teor de Corte .....	51
2.2.1.4 Minérios Marginais .....	56
2.2.1.5 Avaliação Econômica .....	57
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>61</b>
<b>3.1 Dados de entrada</b> .....	<b>62</b>
3.1.1 Levantamento Topográfico.....	62
3.1.2 Modelo de Blocos .....	63
3.1.3 Parâmetros Econômicos: Preço, câmbio e custos .....	64
3.1.4 Outros dados de entrada.....	65
3.1.4.1 Parâmetros Geotécnicos .....	65

3.1.4.2 MCF.....	66
3.1.4.3 Recuperação e Diluição Operacional da Lavra .....	66
3.1.4.4 Recuperação Metalúrgica.....	67
3.1.4.5 Infraestrutura .....	67
3.1.4.6 Outros.....	68
<b>3.2 Método de análise .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3 Dados de saída .....</b>	<b>71</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>72</b>
<b>4.1 Análise de custos de produção .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2 Calculo de teor de corte.....</b>	<b>73</b>
<b>4.3 Resultado cenário 01 - Plano base .....</b>	<b>74</b>
<b>4.4 Resultado comparativo entre cenários 01 a 05 - Sem incremento de desenvolvimento .....</b>	<b>79</b>
<b>4.5 Resultado comparativo final .....</b>	<b>82</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>95</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Qualquer importante empreendimento demanda um significativo nível de planejamento estratégico, considerando a alta competitividade, exposição pública e elevado risco de negócio. No ambiente da mineração, não é diferente, o que leva a buscar os melhores caminhos do negócio com o maior nível de detalhamento técnico possível, avaliando continuamente novas propostas, tecnologias e, muitas vezes, uma crítica construtiva ao método existente.

Projetos de baixa margem financeira, demandam maior esforço de engenharia e de gestão, para que haja uma mínima atratividade aos interessados. Pressionados pela costumeira elevada volatilidade dos preços de venda das commodities, onde certas oscilações podem tornar o projeto economicamente inviável ou minimamente desnecessário, uma série de riscos envolvidos precisam ser levados em conta.

Conforme Souza (2009), na ótica privada, o objetivo da empresa é a maximização da riqueza de seus proprietários. A escassez dos recursos de uma economia torna imperativa a alocação racional dos mesmos através de decisões de “o que”, “como”, “quanto”, “onde”, “por que” e “para quem” produzir. O projeto precisa ser superior a um conjunto de projetos mutuamente excludentes para uma tomada de decisão atrativa.

Sendo assim, uma forma de tornar o projeto atrativo é fazer o devido aproveitamento dos recursos existentes, sejam estes, equipamentos ou pessoas, segundo MORIN (2001). O planejamento estratégico de mina é onde convergem a otimização da mineração e a estratégia de negócio (WHITTLE, 2005).

As minerações subterrâneas apresentam particularidades que a tornam um empreendimento de alto risco, como por exemplo, a exposição ao risco de segurança das pessoas e equipamentos. Segundo Carneiro (2011), a dificuldade de conhecimento dos corpos geológicos em profundidade, a locação das escavações subterrâneas, o alto custo das atividades e a pouca oferta de profissionais experientes no contexto brasileiro, são fatores particulares a este tipo de empreendimento que

torna o cenário ainda mais desafiador. Por outro lado, a escassez mineral em superfície e o aprofundamento das minerações a céu aberto, atrelado a um aumento significativo das restrições ambientais, tornam, cada vez mais, o método mineiro por vias subterrâneas, atrativo e com esperado crescimento futuro.

As reservas minerais que, de acordo com JORC (2012), são a parte economicamente lavrável dos recursos geológicos medidos e indicados, estão sujeitas a uma cadeia de fatores modificadores, sejam eles legais, socioambientais, técnicos e econômicos. Estes afetam o aproveitamento de um determinado depósito mineral, e exigem elevado estudo técnico, de gestão e comunicação, para atender os pilares que sustentam os relatórios públicos: Transparência, competência e materialidade.

Segundo Braunsteiner (2021), no ambiente interno das empresas de mineração, em especial nas operações em Córrego do Sítio, Santa Barbara - MG, que será analisada como exemplo neste estudo, é visto uma adequada e elevada estratificação dos custos de produção, em níveis de localização e gerência. No entanto, vê-se uma rasa análise conceitual do comportamento dos custos e seu impacto como variável de entrada no planejamento estratégico, e não somente como variável de saída.

Mais especificamente na mineração em Córrego do Sítio, Santa Barbara - MG, particularidades com corpos geológicos de baixa espessura e teor, demandam elevada seletividade operacional e requerem maior esforço técnico e estratégico para aproveitamento ótimo dos recursos operacionais e geológicos disponíveis. Paralelamente, e considerando a pressão que os custos de produção direcionam às minas de baixo teor, uma gestão eficiente e um entendimento detalhado do comportamento dos custos do complexo produtivo é fator decisivo. Segundo Pereira (2014), o melhor conhecimento dos custos e sua alocação racional, tem como finalidade uma rentabilidade melhor para o empreendimento e evita desperdício, subutilização dos recursos e até mesmo, em casos extremos, a perda de atratividade do empreendimento.

O conceito de custos fixos e variáveis e sua importância na estimativa de produção pelo planejamento estratégico é pouco valorizado. Dessa forma, perde-se a oportunidade de tornar o projeto mais atrativo financeiramente, com o aproveitamento razoável dos minérios e frentes marginais, gerando flexibilidade operacional, um aproveitamento mais racional e adequado do recurso de produção dimensionado e alocado em suas respectivas unidades de produção.

Segundo Taylor (1985), teor de corte é aquele utilizado para separar os destinos de um determinado material, lavrá-lo ou não o lavar, processá-lo ou estocá-lo. O conhecimento detalhado dos custos e seu impacto na estimativa das reservas, atrelados ao cálculo do teor de corte, juntamente com uma comparação financeira e proposta metodológica de aproveitamento dos minérios e frentes marginais, são caminhos árduos, mas que podem trazer benefícios singulares ao complexo produtivo.

Além do mais, existe pouco histórico acadêmico relevante sobre como utilizar, de forma metodológica, o conceito dos custos de produção, em especial, para minas subterrâneas de baixa espessura, onde é necessária elevada quantidade de frentes de produção para manter a disponibilidade adequada de minérios demandados pelas unidades de tratamento mineral existentes.

Diante do exposto, o principal objetivo da presente pesquisa é apresentar uma metodologia de avaliação econômica para minas subterrâneas, visando proporcionar flexibilidade operacional e maximização do fluxo de caixa em um plano de produção de médio prazo (12 meses), com o aproveitamento, ou não, dos minérios e frentes marginais.

Os objetivos secundários são:

- Pontuar a importância dos fatores modificadores na estimativa da reserva mineral, com destaque para os fatores econômicos;
- Entender, de forma especial, a relevância metodológica da estratificação dos custos em fixos e variáveis e sua correlação direta com o conceito de teor de corte, assim como, as definições de minérios e frentes marginais;

- Detalhar melhor os custos de produção, conforme o tipo (SIB, G&A, fixos e variáveis) e localização (Lavra, desenvolvimento, planta metalúrgica).
- Fazer cálculo do teor de corte padrão e marginal e avaliar economicamente uma mina subterrânea;
- Classificar em nível técnico/econômico as opções marginais e comparar os planos de produção sequenciados;
- Contribuir para a fundamentação teórica e prática na indústria.

Os contextos externo e interno do empreendimento, o pouco lastro acadêmico e a expectativa de aproveitamento ótimo dos recursos e incremento financeiro, tornam a proposta metodologicamente relevante, em especial para as operações mineiras em Córrego do Sítio, Santa Barbara - MG.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MINERAÇÃO

#### 2.1.1 Uma breve história

A mineração, que traz como significado a arte ou efeito de minerar ou extrair minério para significativos fins, surge, conforme Kennedy (1990), como um segundo exercício ou esforço de sobrevivência do homem, após a agricultura, sendo fundamental e integral para a existência humana desde a pré-história, há cerca de 450.000 anos.

O primeiro exercício mineiro deu-se em minerais não metálicos, encontrados em superfície e moldados por técnicas rudimentares. Utensílios de argila foram úteis para armazenamento e o grafite serviu como ferramenta de desenho nas paredes de cavernas e, pelos egípcios, para decorar cerâmicas. Os minerais metálicos, apareceram com função decorativa, devido a sua raridade, atraindo, aos poucos, o homem primitivo. Estes eram minerados, inicialmente, por meio da lavagem de cascalho nos rios em superfície, e até mesmo, por abertura de trincheiras (HARTMAN, 1987).

Segundo, Curi (2014), trabalhos com foco nos metais preciosos, em especial, à procura de ouro e turquesa, podiam ser encontrados no Egito a mais de 3400 anos, como pode ser observado no papiro da Figura 01. Nesta época, já se encontravam escavações subterrâneas com até 250m de profundidade, na costa do Mar Vermelho, para mineração de ouro e esmeralda. Há 2500 anos, blocos de rocha que serviram de insumo para as construções das pirâmides egípcias, eram moldados utilizando areia e outros materiais agregados do rio Nilo.



- Idade Nuclear – Após 1945.

A era do bronze traz alguns marcos importantes, evidenciados em muitas partes do mundo. Uma expedição arqueometalúrgica do século XX, descobriu um “complexo de mineração” de cobre pré-histórico na Tailândia, datado por volta de 2000 a.C. Nela foi encontrado o forno de fundição de cobre mais antigo já conhecido. Artefatos de bronze foram encontrados no oriente próximo, como Mesopotâmia, Egito, Irã e China, sendo alguns deles caracterizados, segundo Keneddy (1990), como as maiores realizações artísticas e técnicas da civilização primitiva.

A era do ferro, que é marcada pela introdução deste metal nas ferramentas e armas, mudou a vida do homem primitivo, primeiro utilizando meteoros encontrados na superfície, até o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas siderúrgicas, com adição de carbono e o resfriamento e reaquecimento rápido do metal, abrindo então caminho, também, para a era do Aço (KENNEDY, 1990).

Na idade média, conforme Curi (2014), a mineralogia se apresenta, inicialmente, com foco relacionado à magia, e se desenrola até mesmo, no descobrimento de novos metais, como o antimônio e o bismuto.

Classificada como uma das maiores invenções humanas, a impressão, desenvolvida por Guttenberg no séc. XV, com auxílio de fundição entre chumbo e estanho, favoreceu o incremento tecnológico através da facilitação das trocas de informação em toda atividade humana. Livros históricos da mineração, como *De re mettalica* (1556) do Alemão Georgius Agricola (1494-1555), surgem no século XVI, no período chamado de renascença (KENNEDY, 1990) e (CURI, 2014).

O marco da revolução industrial, na idade do aço, demanda da atividade mineral, e não somente desta, uma mudança de patamar no desenvolvimento tecnológico. O motor a vapor de James Watt propulsionou a mineração de carvão e ferro em larga escala. A evolução das máquinas, ferramentas e transporte (figura 02), a invenção da eletricidade, assim como, a invenção da dinamite e o surgimento das

ciências geológicas, revolucionaram a indústria mundial (HARTMAN, 1987), (KENNEDY, 1990) e (CURI, 2014).

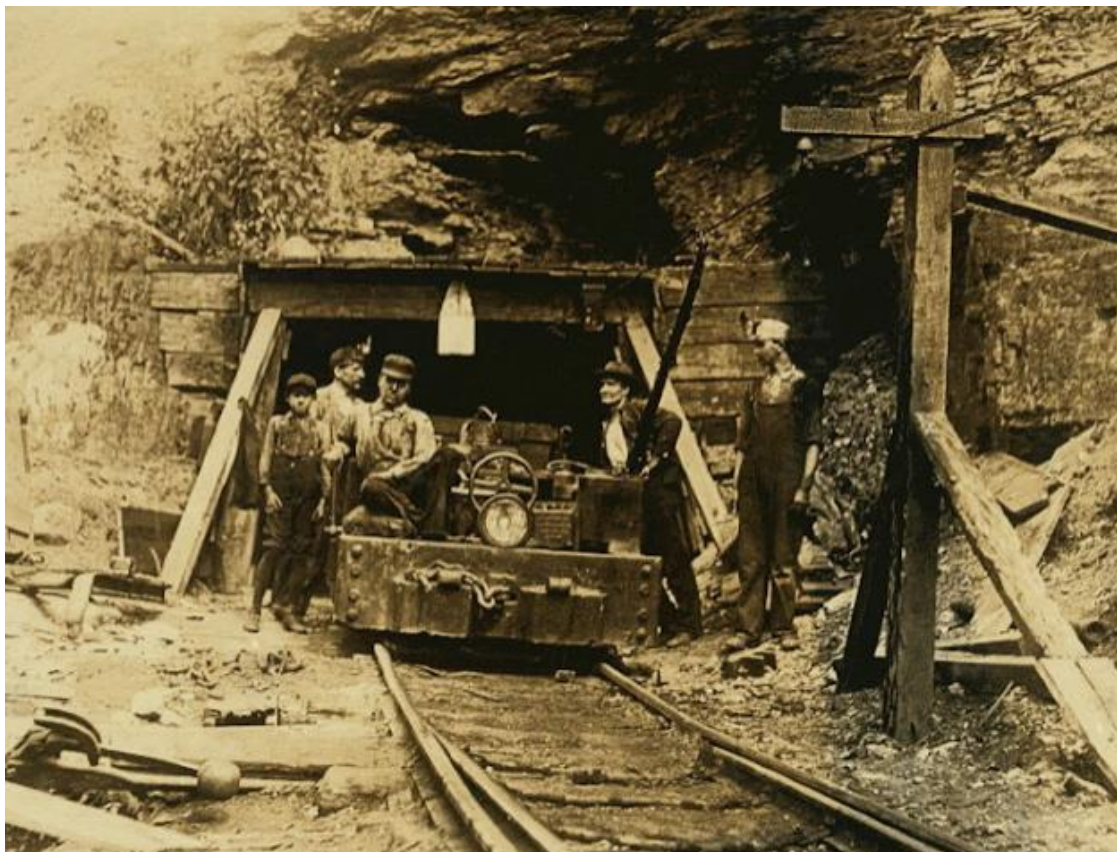


Figura 02: Pequena mina de carvão em West Virginia, em 1908 (GONZALES, 2018).

A mineração destaca-se como o principal motor do desenvolvimento civilizacional, fazendo parte das construções e divisões históricas. Apesar das críticas, a mineração se apresenta na era moderna como um valioso ativo, espalhado pelo globo, como mostrado na figura 03. No contexto atual, figura 04, a mineração, como qualquer outro empreendimento, busca a maximização do retorno financeiro e da riqueza de forma mais sustentável possível, levando em conta o caráter exaurível ou não renovável dos recursos minerais, o que também a diferencia dos outros empreendimentos (CURI, 2014).



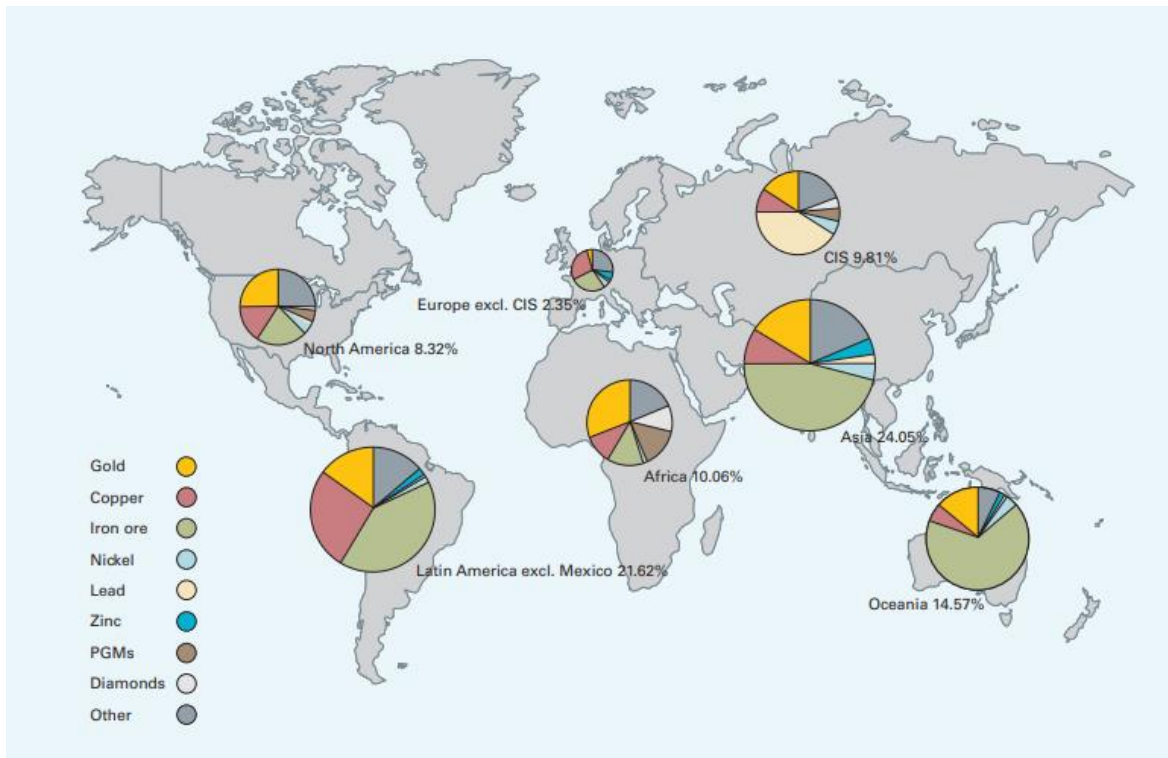


Figura 03: Distribuição global de minerais minerados baseados no valor da quantidade minerada (ATLAS COPCO, 2014:08).



Figura 04: Mineração subterrânea - Era moderna ou idade nuclear (EXAME, 2020).

### 2.1.2 Mineração Subterrânea

A mineração subterrânea, cada vez mais se apresenta em evidência no contexto global, em especial, como possibilidade de suplantar dificuldades encontradas na mineração a céu aberto, que, conforme Carneiro (2011), podem ser destacadas como: Crescentes restrições ambientais - mesmo a indústria mineral não sendo a de maior impacto no meio ambiente - e o aprofundamento dos corpos geológicos, que demandam maior movimentação de estéril, e, portanto, maior custo de acesso ao minério.

Curi (2017) argumenta que apesar do desenvolvimento de novas tecnologias favorecerem o crescimento produtivo das minerações a céu aberto, por outro lado, pressionam a exaustão das minas mais superficiais, por isso, embora de forma lenta, as minerações subterrâneas têm crescido em representatividade.

O progresso e o desenvolvimento tecnológico na mineração têm por objetivo o aproveitamento máximo das reservas minerais. Entretanto, se por um lado o aumento da eficiência decorrente da mecanização e o consequente ganho de produtividade têm impulsionado a lavra a céu aberto, por outro, até como implicação das altas taxas de produção, há a exaustão das minas a céu aberto com minério de alto teor aflorantes ou próximas a superfície. Desse ponto de vista verifica-se uma tendência de substituição progressiva, embora lenta, das lavras conduzidas a céu aberto pelas subterrâneas por razões econômicas, geológicas e de morfologia das jazidas. A crescente competição pelo uso da terra principalmente nas regiões mais povoadas e desenvolvidas pode tornar a lavra subterrânea a única opção plausível. Assim, o desafio tecnológico a ser enfrentado pela área de lavra de minas e pelos respectivos profissionais é crescente. Constantemente novas metodologias têm sido desenvolvidas para a lavra de jazidas cada vez mais profundas. Como consequência, o número de minas subterrâneas, tanto no mundo, como no Brasil, tem crescido. (CURI, 2017:220)

A figura, 05, apresenta a distribuição e representatividade em massa produzida das minerações a céu aberto e subterrânea no mundo, apresentando a América Latina como o maior produtor de minério mundial, acompanhada de perto pela Ásia, e o continente Africano, com maior utilização percentual da mineração subterrânea nas atividades mineiras.

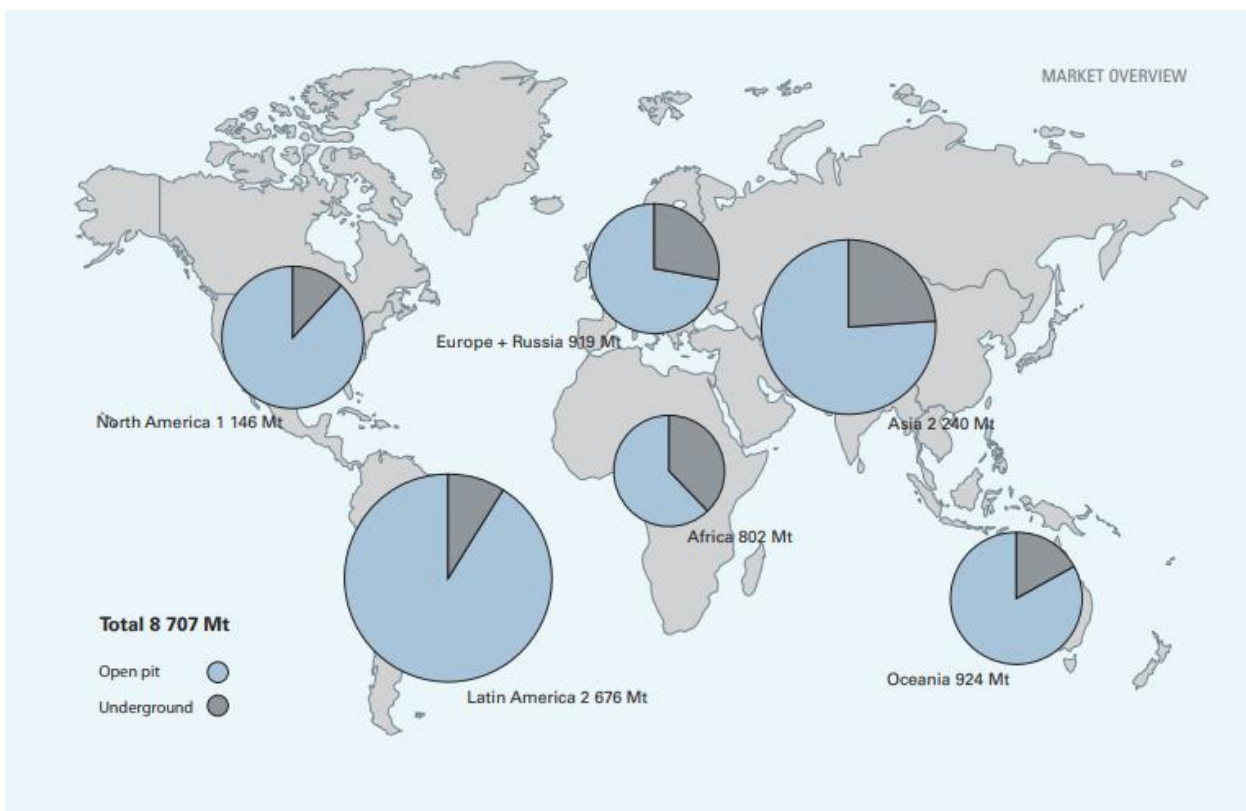


Figura 05: Quantidade total dos materiais minerados no mundo por operações de mina a céu aberto e subterrânea (ATLAS COPCO, 2014:09).

Para a escolha do método de acesso à extração mineral, sendo subterrânea ou a céu aberto, uma série de outros fatores, além do ambiental e econômico, precisam ser satisfeitos. Ainda segundo Carneiro (2011), são estes: fatores sociais, de segurança das atividades por meio de condições adequadas de estabilidade das escavações, fatores técnicos de maximização da produtividade e da recuperação do minério, assim como a redução das diluições e promoção necessária de adequada infraestrutura e flexibilidade às mudanças do comportamento geológico.

A escavação subterrânea possui características e definições específicas, a começar pelo acesso a corpos mineralizados profundos por meio das *declines* (Apêndice II) ou por meio dos *shafts* (Apêndice II), que permitem, não somente o acesso, mas também o transporte contínuo de material, equipamentos e pessoas (Whittle, 2019).

Como pode ser visto, termos em inglês são comumente utilizados, devido à padronização de nomenclatura. Um glossário com os termos gerais pode ser encontrado no Apêndice II. De forma específica, para facilitar o entendimento da linguagem, alguns termos podem ser mais bem detalhados nessa nomenclatura básica, descrita abaixo, por Whittle (2019):

- *Cross-cut* (travessa): Galeria horizontal que conecta o *shaft* ou *decline* ao corpo de minério;
- *Dilution* (Diluição):  $T(W)/T(M)$ , onde  $T(W)$  e  $T(M)$  são as massas de resíduo/estéril e rochas minerada, respectivamente;
- *Drift*: Galeria ou abertura horizontal, próxima ao corpo mineral e geralmente paralela ao *strike* (ataque);
- *Grade*: Quantidade relativa de um elemento na rocha, representada por uma proporção, como gramas por tonelada no caso do ouro;
- *Level*: Rede de galerias horizontais, ou quase horizontais, que conectam os *shafts* e *declines*;
- *Ore pass*: Poço semi vertical utilizado para transporte de minério, por meio de gravidade;
- *Pillar*: Coluna ou seção de rocha que fornece integridade estrutural as áreas mineradas, acessos e infraestrutura.
- *Stope*: Formas tridimensionais ou unidades de escavação do minério;
- *Strike*: Direção principal do depósito mineral;
- *Sublevel*: Galerias subterrâneas entre níveis utilizada para produção de minério ou acesso aos *stopes*.

A figura 06, apresenta de forma esquemática, uma nomenclatura básica das principais estruturas de uma mina subterrânea:

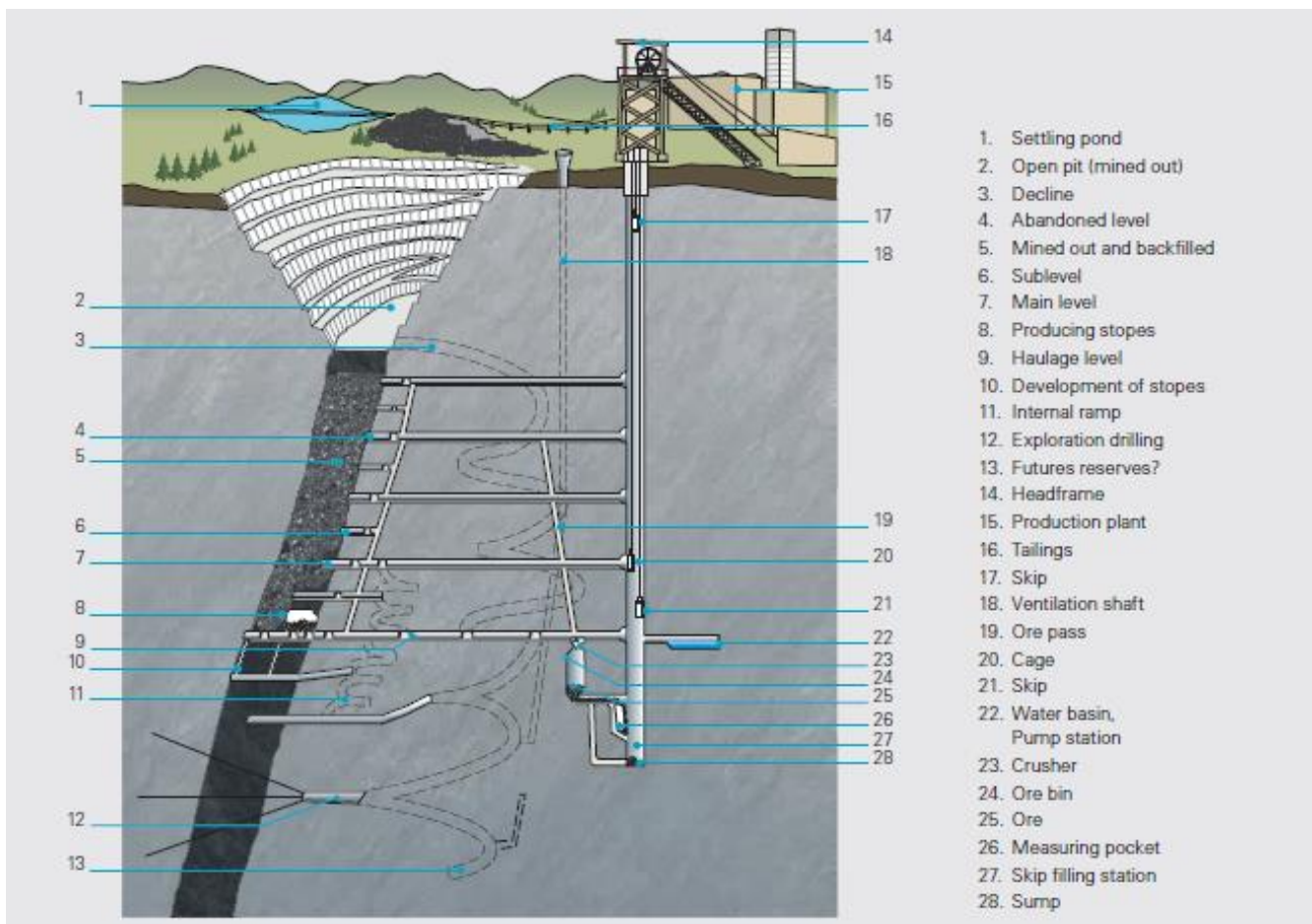


Figura 06: Estrutura geral de uma mina subterrânea (ATLAS COPCO, 2014:30).

Vale destacar outras estruturas, como o *Ventilation shaft*, ou poço de ventilação da mina, comumente utilizado como caminho de emergência, e a *Pump Station*, ou Estação de bombeamento, responsável pelo rebaixamento e bombeamento de água das frentes de trabalho.

Minas subterrâneas diferenciam-se facilmente uma das outras, e a infraestrutura adequada a estas precisam ser bem dimensionadas, considerando a forma do corpo, a estrutura e a estabilidade geotécnica, com afastamento adequado das contínuas frentes de perfuração e desmonte, evitando perturbações do maciço. Uma série de necessidades para produção precisa ser atendida com alto nível de qualidade, desde ventilação, bombeamento, manuseio de materiais até o fornecimento de água e energia (Atlas Copco, 2014).

Na figura 07, tem-se um desenho esquemático em três dimensões, com um resumo das principais infraestruturas encontradas em um ambiente mineiro subterrâneo.

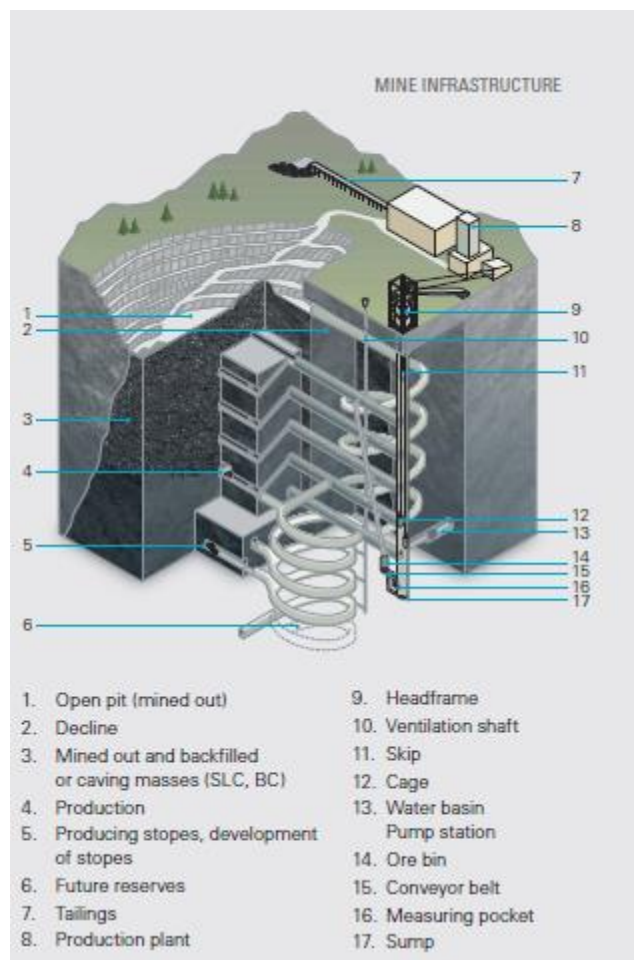


Figura 07: Infraestrutura básica de uma mina subterrânea (ATLAS COPCO, 2014:31).

### 2.1.3 Métodos de lavra subterrânea

As minas subterrâneas apesar de possuírem conceitos únicos, também possuem diferenças significativas relativas ao layout, sendo necessário um planejamento detalhado deste, à semelhança do nível de esforço de engenharia projetado na infraestrutura. O posicionamento ótimo dos acessos, das travessas, da oficina de manutenção, estação de bombeamento, áreas de produção precisam ser devidamente planejados (Atlas Copco, 2014).

Para a seleção do método de lavra subterrâneo, primeiro é importante o conhecimento referente ao corpo mineralizado, como sua geometria e profundidade, competência e resistência mecânica (Whittle, 2019).

Curi (2017) considera três princípios fundamentais que envolvem a tomada de decisão na definição do método de lavra, e estão relacionados “à questão geotécnica, à sustentação e ao controle das deformações nas aberturas” (CURI, 2017:257). O princípio de abandono dos pilares, ou manutenção dos pilares para sustentação das escavações; o princípio do enchimento, ou preenchimento com estéril/rejeito dos espaços vazios deixados pelas escavações; e o princípio do abatimento, ou deformação do maciço rochoso de forma controlada.

Curi (2017) ainda relaciona três grandes grupos de método de lavra ao tipo de suporte que precisará ser direcionado as aberturas subterrâneas:

- com aberturas autossuportadas: naturalmente suportadas, promovendo grandes espaços sem suporte – Câmaras e Pilares, Lavra por subníveis, Lavra por Recalque e Realce Aberto;
- com aberturas com suporte artificial: Suporte artificial obrigatório, que aumenta os custos e diminui a produtividade – Corte e Enchimento, Lavra com Estruturas retangulares, Frentes Amplas e Alargamentos Esteados;
- com aberturas sem suporte: Não suportadas, executadas por abatimento – Abatimento de Níveis e Abatimento de Blocos.

A figura 08, apresenta um resumo da relação dos aspectos geotécnicos e o método de lavra subterrânea:

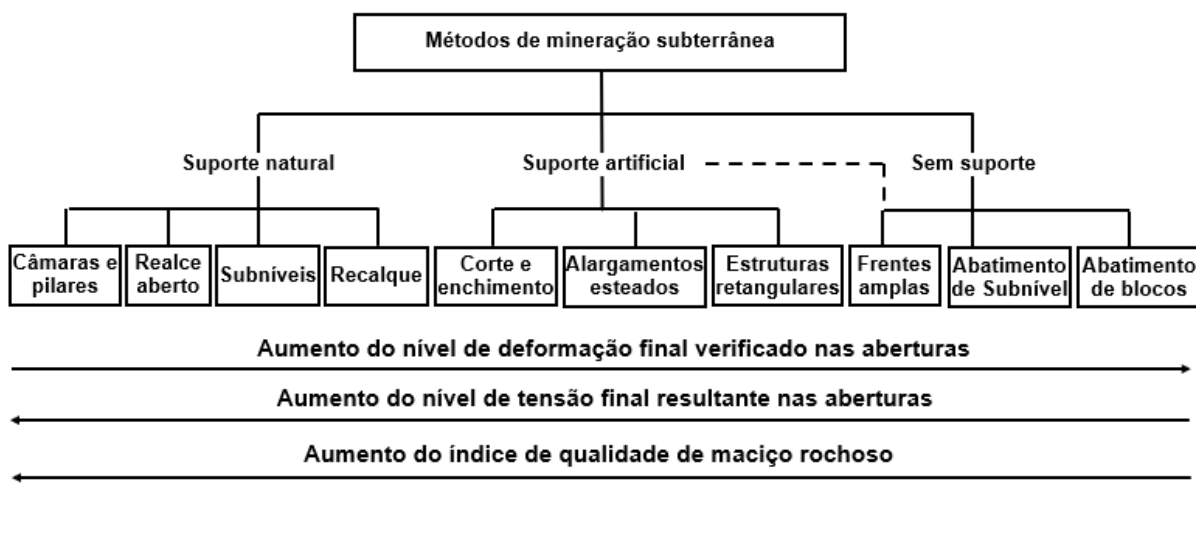


Figura 08: Aspectos geotécnicos e método de lavra subterrânea (Adaptado de CURI, 2017:260).

Além dos aspectos geotécnicos e estruturais da formação geológica, outros parâmetros auxiliam no detalhamento para a melhor escolha do método de lavra a ser executado, ou seja, esta escolha está associada de forma direta à um compilado de importantes informações. Whittle (2019), sugere que este “multicritério” favorece a tomada de decisão e escolha dos principais métodos a serem sujeitos a uma análise mais detalhada, ou refinamento, reconciliando até mesmo, opiniões de especialistas.

Curi (2017) apresenta a tabela I, com um resumo comparativo dos principais parâmetros operacionais com o método de lavra subterrânea, além de um roteiro das principais características que precisam ser consideradas na seleção do método, demonstrado abaixo:

1. Facilidade no processo de fragmentação: Relacionado a facilidade de trabalho na rocha para alcance da granulometria desejada utilizando desmonte mecânico ou por explosivos;
2. Produção máxima: vinculada a maior quantidade de serviços em menores quantidades de frentes de produção, favorecendo o tempo de ciclo das atividades e redução dos custos operacionais;



3. Lavra rápida: Importante para maximização da produção e também para a estabilidade das aberturas, reduzindo também o custo de suporte;
4. Recuperação máxima: Foco na maximização do volume e teor do minério, com minimização da diluição;
5. Lavra Seletiva: Foco na eliminação de contaminantes como enchimento e estéril. A lavra rápida favorece a seletividade por diminuir o tempo de exposição das aberturas;
6. Facilidade de Acesso: Facilitar o movimento de equipamento e pessoas;
7. Menor consumo de energia e de materiais: Maximizar o aproveitamento dos suportes naturais, e redução de energia das operações unitárias, como bombeamento, ventilação, dentre outros;
8. Menor manuseio de minério: Maximizar a utilização do transporte gravitacional dos materiais desmontados e de enchimento;
9. Fácil enchimento e compactação: Evitar espaços vazios no interior do local;
10. Maior segurança: Reduzir os riscos associados a queda de blocos, abatimentos e rolamento de material.

Método	Câmara e Pilares	Subníveis	Recalque	Reaice aberto	Corte e Enchimento	Alargamentos esteados	Estruturas retangulares	Frentes Amplas	Abatimento/Subnível	Abatimentos Blocos
Custo relativo (%)	25	30	50	30	60	70	130	15	15	10
Taxa de produção	Alta	Alta	Moderada	Alta	Moderada	Baixa	Muito Baixa	Muito Alta	Alta	Alta
Produtividade (t/homem/turno)	Alta (30-100)	Alta (15-30)	Baixa (5-10)	Alta (30-50)	Moderada (10-20)	Baixa (1-50)	Muito Baixa (1-3)	Muito Alta (50-200)	Alta (20-50)	Alta (20-50)
Custos Operacionais Típicos (US\$/t)	7-30	7-35	20-50	7-25	20-70	50-90	50-100	10-30	10-30	5-20
Recuperação (%)	70-80	70-80	70-90	70-80	90-100	Acima de 90	Até 100	70-90	90-130	90-100
Diluição	Moderada	Moderada	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta
Emissão de Poeira (kg/t)	Não Analisado	0.1 - 0.3	Não Analisado	Não Analisado	0.2 - 0.6	Não Analisado	Não Analisado	Não Analisado	0.3 - 0.4	0.05 - 0.1
Desenvolvimento Requerido	Pouco e rápido	Moderado, Lento e Dispendioso	Moderado e rápido	Pouco e rápido	Moderado, Lento e caro	Rápido	Vagaroso	Moderado	Amplamente Lento e Caro	Amplamente Lento e Dispendioso
Investimento de Capital	Alto	Moderado a Alto	Baixo	Moderado	Moderado	Baixo	Baixo	Alto	Moderado a Alto	Alto
Flexibilidade	Flexível	Inflexível	Regular	Flexível	Moderada	Flexível	Flexível	Inflexível	Inflexível	Muito Inflexível
Seletividade	Seletivo	Não seletivo	Regular	Seletivo	Seletivo	Seletivo	Seletivo	Não seletivo	Não seletivo	Não seletivo
Estabilidade das Aberturas	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Moderada
Subsistência	Moderada	Pouca	Pouca	Pouca	Pouca	Moderada	Pouca	Muita	Muita	Muita
Segurança	Boa	Boa	Boa	Boa	Moderada	Moderada	Ruim	Boa	Boa	Boa
Outras Características Relevantes	Muito Aplicada ao Carvão	Muito popular e Moderno	Fluxo Gravitacional	Usado em Minas metálicas	Usa Enchimento	Em desuso	Em desuso	Altamente Mecanizado	Abatimento deve ser controlado	Abatimento deve ser controlado

Tabela I: Método de lavra subterrânea versus parâmetros operacionais (Adaptado de CURI, 2017).

### 2.1.3.1 Método de Lavra por Subníveis (*Sublevel Stopping*)

O método de lavra subterrânea por subníveis, mais conhecido como *Sublevel Stopping* (Apêndice II), que suportará o desenvolvimento metodológico do presente estudo, além das qualificações já apresentadas nos tópicos anteriores, pode ser mais bem detalhado e entendido neste tópico.

Neste método, como o próprio nome já diz, o corpo mineralizado é dividido verticalmente em níveis, e é preferencialmente indicado para corpos competentes e de elevada inclinação, preferencialmente acima de 60°, assim como suas encaixantes. Normalmente aplicado em rochas metálicas e duras, como em minas de cobre, ferro, zinco, ouro e outros metais. Também aplicável em maciços espessos, extensos e tabulares. A autossustentação das aberturas é suportada pelos pilares estruturais, como o *crown pillar*, *sill pillar* e *rib pillar* (CURI, 2017).

Uma série de autores, segundo Oliveira (2011), vão definir, de forma resumida, as seguintes condições para aplicação do sublevel:

- Competência do minério: moderada a elevada;
- Competência das encaixantes: Ligeiramente alta a alta;
- Forma do depósito: tabular ou lenticular;
- Mergulho do corpo mineral: maior que o ângulo de repouso do minério desmontado;
- Distribuição de teores: ligeiramente uniforme.

Sobre o layout do desenvolvimento e a caracterização dos níveis, pode-se dizer que o acesso ao corpo mineralizado é feito por travessas e os níveis principais podem variar de 45 a 120 metros, sendo então estratificados em subníveis de 10 a 55 metros, ou seja, cada nível contém no mínimo um subnível de produção (figura 09) (VIANA, 2019).

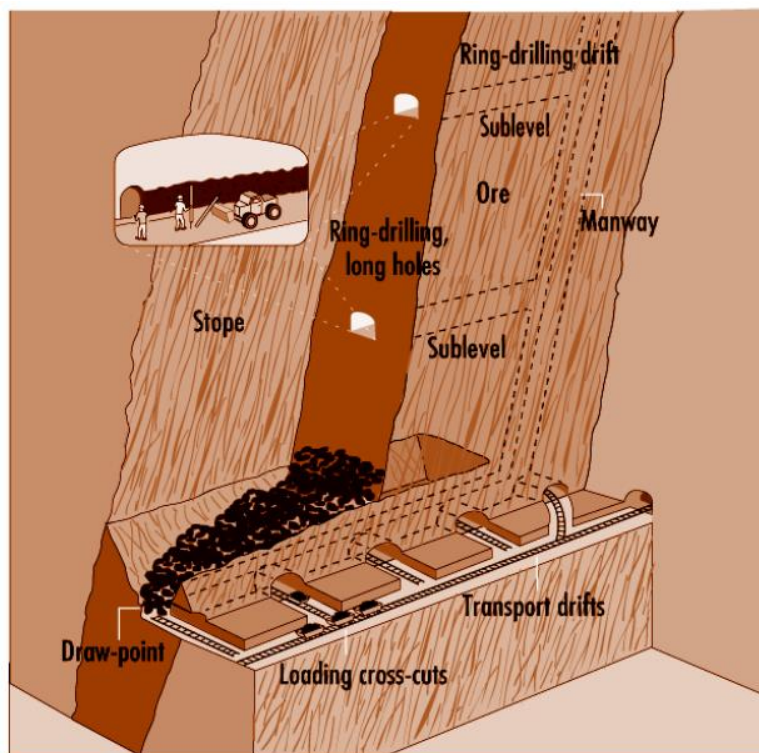


Figura 09: Padrão de perfuração e carregamento e subníveis (KARMIS *et al*, 1992 *apud* VIANA, 2019).

De forma mais específica, Oliveira (2011) atribui três variações dentro do método de sublevel stoping, que se relacionam com a forma da perfuração e desmonte dos realces, conforme descrito abaixo:

- Perfuração Radial (*Blast Hole Method*): Perfurações feitas de forma radial e por fatias, localizadas em cada subnível;
- Perfuração de Furos Longos (*Open-Ending Method*): Perfurações longas e verticais por fatias (figura 10);
- *Vertical Crater Retreat Method* (VCR): Perfuração vertical desmontadas por fatias horizontais;

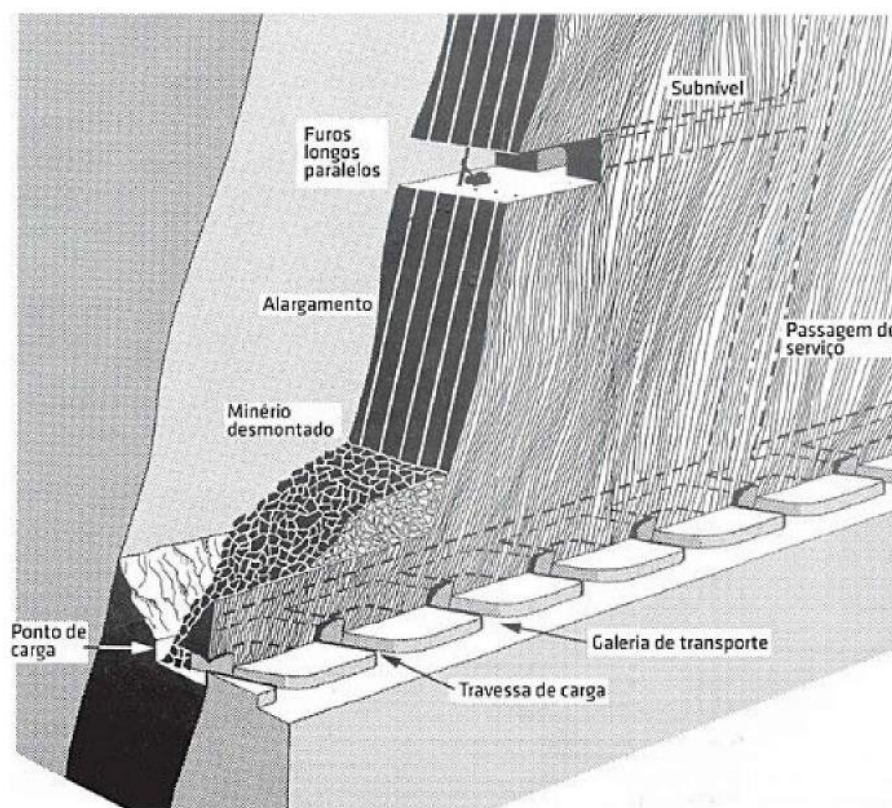


Figura 10: Abertura de Realce utilizando furos longos (HAMRIN, 1986 *apud* CURI, 2017).

Curi (2017) relaciona algumas fases ou ciclos na atividade de lavra que ocorrem no método por subníveis, e podem ser resumidas da seguinte forma:

- Perfuração: Podendo ser ascendente e descendente, por furos curtos ou longos, com perfuratrizes eletro-hidráulicas ou pneumáticas, com diâmetros variando de 45mm a 150mm;
- Desmonte ou detonação: Utilizando ANFO, emulsões, com carregamento manual ou por bombeamento mecânico;
- Carregamento: Por fluxo gravitacional até os níveis de extração, utilizando carregadeira convencional ou LHD;
- Transporte: Realizado por LHD, caminhões ou vagonetes.

Dentre os vários fatores que tornam o método de lavra por subníveis aplicável, sua facilidade de adaptação a variadas situações, segundo Curi (2017), é o principal dos motivos deste método estar em “ampla utilização no Brasil”.

## 2.2 RESERVA MINERAL E SEUS FATORES MODIFICADORES

Antes de desenvolver o conceito de reserva mineral e seus fatores modificadores, a definição de recurso mineral precisa ser bem compreendida.

Curi (2014:18) afirma que Recurso Mineral é uma “ocorrência mineral identificada, in situ, capaz de ceder minerais de interesse econômico, mas que não foi submetida a uma avaliação econômica”. Segundo Jorc (2012), estes precisam estar em forma, grau, quantidade e perspectivas razoáveis para uma eventual extração, ou seja, depósitos que não possuem expectativa razoável para um possível aproveitamento econômico não devem ser classificados como recurso mineral.

O Recurso Mineral e suas características geológicas, são “conhecidos” em diferentes níveis de confiabilidade, e são subdivididos ou classificados nas categorias de inferidos, indicados e medidos, em ordem crescente de confiança da estimativa geológica. Esta confiança é alcançada conforme o incremento ou aumento do nível de informação, sendo esta conquistada pelos variados métodos de amostragem (canal, trincheiras, sondagem, etc), pelos conhecimentos geológicos específicos e pela qualidade da sua estimativa (JORC, 2012).

Jorc (2012) apresenta um maior detalhamento da característica dos recursos inferidos, indicados e medidos, resumidos da seguinte forma:

- Recursos Inferidos: Evidências geológicas e amostragem limitadas, que sugere, mas não possibilita a verificação de continuidade geológica;
- Recursos Indicados: Evidências geológicas e amostragem com suficiente confiança a ponto de sugerir continuidades geológicas;
- Recursos Medidos: Evidências geológicas e amostragem com suficiente confiança a ponto de confirmar continuidades geológicas.

O conceito de reserva mineral, segundo Curi (2014:18), pode ser definido como “partes dos recursos para os quais se demonstram viabilidades técnicas e econômicas”, ou seja, todo aquele recurso mineral, com exceção da categoria inferido, está sujeito a ser classificado como reserva. A demonstração ou justificativa de viabilidade técnica e econômica é feita após aplicação de uma série de fatores modificadores (JORC, 2012).

Da mesma forma que os Recursos Minerais, as Reservas, também são subdivididas em categorias: Reserva Provada e Reserva Provável. Estas possuem correlação direta com as categorias dos recursos, conforme figura 11.

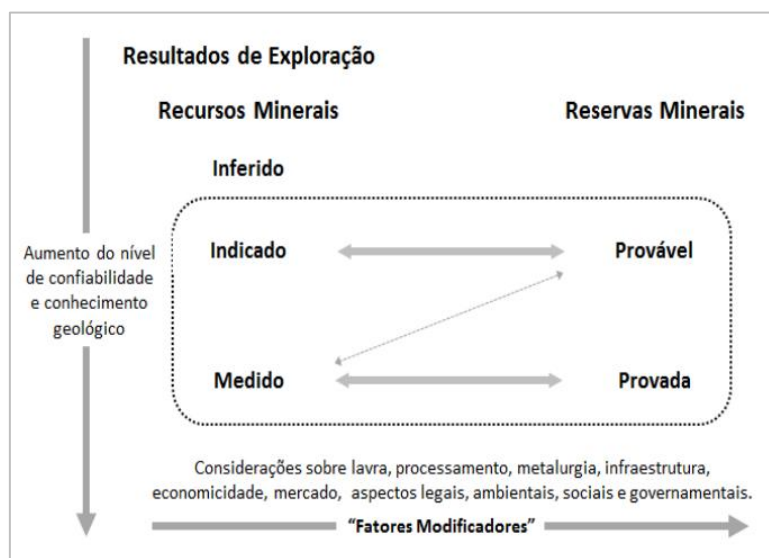


Figura 11: Relação entre Recursos e Reservas Minerais (JORC, 2012).

A Reserva Provável é a parte economicamente lavrável do Recurso Indicado, e algumas vezes, de parte do Recurso Medido que não possui confiança elevada nos fatores modificadores. Já a Reserva Provada é a parte economicamente lavrável do Recurso Medido que possui elevado grau de confiança nos fatores modificadores (CURI ,2014).

Jorc (2012), relaciona as Reservas diretamente ao nível de confiabilidade geológico, com o nível de incertezas dos fatores modificadores. Aborda também o fato de haver necessidade de um profissional ou Pessoa Competente para suportar os relatórios públicos de Recursos e Reservas, com transparência, materialidade e competência:

A escolha da categoria apropriada da Reserva Mineral é determinada principalmente pelo nível relevante de confiança do Recurso Mineral e depois de considerar quaisquer incertezas na consideração dos Fatores Modificadores. A alocação da categoria apropriada deve ser feita por uma Pessoa Competente (JORC, 2012:17).

A *Competent Person* (Apêndice II), é suportada por uma equipe multidisciplinar, passando por profissionais de “engenharia, economistas, geólogos, tributaristas, analistas de mercado, etc.” (SOUZA, 2009:03) e precisa ter um mínimo de cinco anos de experiência relevante para o tipo e estilo do depósito e atividade, além de estar registrada em um órgão reconhecido (ANGLO GOLD ASHANTI, 2020).

Os Fatores Modificadores são parte ativa no conceito de Reserva Mineral, e podem ser classificados, de uma forma geral, como: fatores legais, socioambientais, técnicos e econômicos.

Os fatores legais estão relacionados as permissões e requisitos que precisam estar satisfeitos no ato da publicação das Reservas. “Para declarar Reservas Minerais é necessário que a entidade declarante tenha controle sobre os títulos minerais requeridos por lei” (CBRR, 2016:22). Não pode haver conhecidos obstáculos quanto a regulamentação do empreendimento, nem falhas nas obtenções de licenças e permissões, além de ser necessário sinalizar informações que possam trazer

mudanças nos riscos associados à obtenção ou não de determinadas licenças (CBRR,2016).

Os fatores socioambientais estão diretamente ligados à segurança e saúde ocupacional. “As declarações Públicas devem discutir os impactos ambientais, sociais (sustentabilidade), de saúde e segurança que são esperados durante o desenvolvimento, operação e encerramento das atividades” (CBRR, 2016:23). É necessário, que seja discutido em nível razoável nos relatórios os fatores que possam trazer riscos associados ao meio ambiente, as pessoas e comunidades que possuem direta e indiretamente relação com o projeto. Sendo eventualmente necessário a inclusão de estudos ambientais, planos de disposição de rejeito e estéril e o status dos pedidos de licenciamento, discussões sobre demandas sociais e acordos comunitários, além das exigências e custos de fechamento de mina (CBRR, 2016).

Os fatores técnicos, abrangem uma série de disciplinas que suportam os estudos de viabilidade das Reservas Minerais. Aborda-se estudos hidro geológicos e geotécnicos; descrição e justificativa do método de lavra, considerando seletividade, unidade mínima, recuperação e diluição da lavra e desenvolvimento; MCF (Mining Call Factor - Apêndice II); taxas e capacidades da usina; assim como o método de beneficiamento e justificativa da recuperação estimada; dimensionamento de frota; infraestrutura e de pessoas; estudos de ventilação e refrigeração, em caso de minas subterrâneas; dentre outros (ANGLO GOLD ASHANTI, 2020) e (CBRR, 2016).

Os fatores modificadores econômicos serão tratados de forma específica e mais bem detalhada no tópico seguinte, considerando sua relação direta com o estudo proposto.

Anglo Gold Ashanti (2020) afirma que devido ao caráter único e complexidade dos elementos minerais que cada depósito possui, nenhuma tabela consegue trazer todos os critérios e fatores comuns a todas as reservas geológicas, o que exige aprofundamentos específicos em cada processo produtivo.



### 2.2.1 Fatores Modificadores Econômicos

Os Fatores Modificadores Econômicos, como já dito, foco do estudo proposto, suportam o estudo de viabilidade da Reservas Minerais, também de forma direta.

Anglo Gold Ashanti (2020) apresenta uma lista simplificada dos principais componentes que pertencem ao grupo dos Fatores Econômicos, dos quais pode-se destacar os dois descritos a seguir:

- Preço do produto ou das commodities;
- Custos de produção.

Estes grandes grupos não somente suportarão a classificação de um Recurso em Reserva Mineral, mas também se apresentarão como destaques na tomada de decisão dos investidores: investir ou não investir em um determinado projeto considerando restrições orçamentárias e variadas opções. Souza (2017) afirma, que além de fornecer retorno financeiro o projeto precisa ser mais atrativo dentre uma série de outros projetos disponíveis.

Por hipótese, o trabalho parte de uma jazida, geologicamente conhecida (com reservas cubadas ou parametrizadas), com tecnologia para o seu aproveitamento e com mercado identificado para alocação do(s) produto(s). Dessa forma, o objetivo é aplicar os métodos de avaliação expostos para tomada das decisões de: aceitar/rejeitar o projeto; selecionar o projeto economicamente superior de um conjunto de projetos mutuamente excludentes; e, escolher uma combinação ótima de um conjunto de projetos independentes, sujeitos à restrição orçamentária. Deve se ter em mente que a rejeição de todas as alternativas é uma decisão que deve ser considerada na avaliação. “Não investir em nada” implica em aceitar como alternativa aquela que proporciona retorno igual ao custo de oportunidade do investidor (SOUZA, 2017:03).

Contudo, a forma e qualidade de definir o preço dos produtos ou das commodities; a classificação detalhada e abrangente dos custos de produção; o conceito de teor de corte bem definido; assim como, dos minérios marginais; e uma metodologia adequada de aplicação do fluxo de caixa, podem tornar o processo de tomada de decisão, tanto para publicação de Reservas Minerais quanto para aplicação de investimento direto, mais fácil e seguro.

### 2.2.1.1 Preço das Commodities

Uma das variáveis mais sensíveis a fatores externos é o preço das commodities, que estão sujeitas a variações significativas de oferta e demanda do mercado. Isto exige elevado esforço na estimativa, para evitar danos ao processo de tomada de decisão. Sendo assim, uma superestimativa do preço do produto pode dar caráter atrativo a um empreendimento marginal e até mesmo inviável. Já uma subestimativa demonstraria baixa atratividade ou inviabilidade para projetos interessantes. Portanto, alguns fatores precisam ser bem entendidos para que uma estimativa do preço do produto não seja super ou subestimada, mas adequada (CHANGANANE, 2017).

A alta volatilidade do preço das commodities é uma característica historicamente comum. Miranda Júnior (2011) afirma que existe um livro ou fonte muito utilizada no ambiente mineiro para consulta das estimativas futuras dos preços, baseadas em estudos estatísticos, chamado “*Metal Statistics*”, feito pelo *World Bureau of Metal Statistics* da Inglaterra (Apêndice II). Algumas regras precisam ser levadas em consideração, como não escolher preços em alta ou aqueles vinculados às bolsas de metais.

Grandes empresas possuem conselhos e consultorias específicas para definição do preço do metal a ser utilizado nas avaliações econômicas de forma padronizada a todos as unidades. Além disso, buscam garantir uma determinada margem financeira no fluxo de caixa e AISC (*All in sustaining Cost* - Apêndice II), alinhados aos objetivos internos da companhia. Um exemplo disso, é que mesmo o relatório da S&P (figura 12), indicando o preço do ouro oscilando entre 1,667.25 US\$/oz e 1,83854 US\$ para os próximos cinco anos, algumas empresas vão sugerir preço base de 1,200.00 US\$/oz para avaliação econômica das Reservas Minerais. Estas também consideram dados históricos para suportar a escolha do preço conforme a figura 13 (Anglo Gold Ashanti, 2021).

Produto*	Preço a partir de 30 de Abril	Q2 2021F	2020	Meta do preço médio a partir de 30 de abril de 2021				
				2021 P	2022 P	2023 P	2024 P	2025 P
Ouro (\$/oz)	1,767.7	1,812.67	1,778.7	1,829.56	1,838.54	1,765.61	1,705.72	1,667.29
Prata (\$/oz)	25.87	25.44	20.7	25.52	24.93	23.91	22.03	20.93
Platina (\$/oz)	1,205.2	1,112.6	891.56	1,098.28	1,108.39	1,150.53	1,160.15	1,157.88
Paládio (\$/oz)	2,953.7	2,464	2,176.66	2,357.13	2,175.61	2,037	1,798.38	1,539.38
Alumínio	1.1	0.95	0.83	0.95	0.94	0.94	0.95	0.98
Cobalto	20.5	20	14.25	21.28	23.99	24.32	23.32	24.95
Cobre	4.47	3.84	2.8	3.76	3.65	3.5	3.54	3.74
Minério de Ferro (\$/t)	184.14	156.59	105.68	143.61	108.14	91.45	78.75	72.24
Chumbo	0.99	0.91	0.85	0.92	0.93	0.93	0.92	0.91
Níquel	8	7.63	6.43	7.57	7.52	7.41	7.51	7.62
Estanho	14.6	10.89	7.78	9.52	8.62	7.94	7.94	8.1
Zinco	1.32	1.23	1.05	1.21	1.16	1.15	1.15	1.14
Urânio	29.15	35.96	29.75	33.7	37.51	40.83	43.38	47.63

Data a partir de 30 de abril, 2021

P = Previsão

\* Dólar por libra, salvo quando indicado.

Pesquisa: S&P Inteligência Global de Mercado

Figura 12: Estimativa de preço pela consultoria S&P (Modificado de ANGLOGOLD, 2021:02).

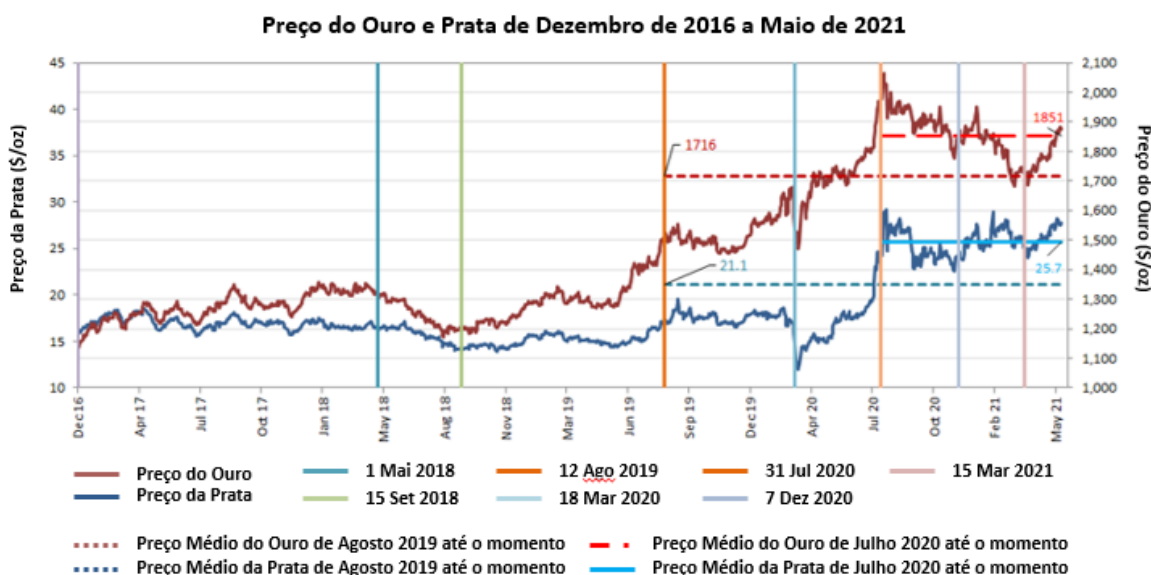


Figura 13: Histórico do preço do ouro e da prata – dezembro de 2016 a maio de 2021 (Modificado de ANGLOGOLD, 2021:03).

Changanane (2017), apresenta trabalhos de simulação de preços, voltados ao ambiente mineiro, utilizando simulação gaussiana e outros métodos estocásticos como o Movimento Geométrico Browniano (MGB) e o Movimento de Reversão à Média (MRM) (figuras 14 e 15). O MGB é mais utilizado em metais preciosos que possuem tendência constante de preço, enquanto o MRM é mais usual em metais básicos com equilíbrio em longo prazo.

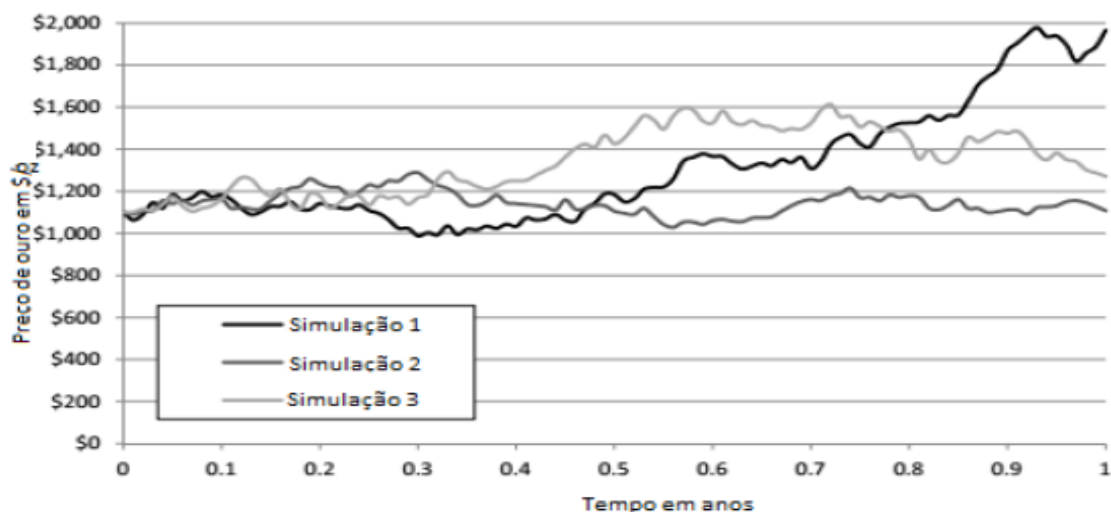


Figura 14: Simulação do preço de ouro usando MGB (Adaptado de BARR, 2012 *apud* CHANGANANE, 2017).

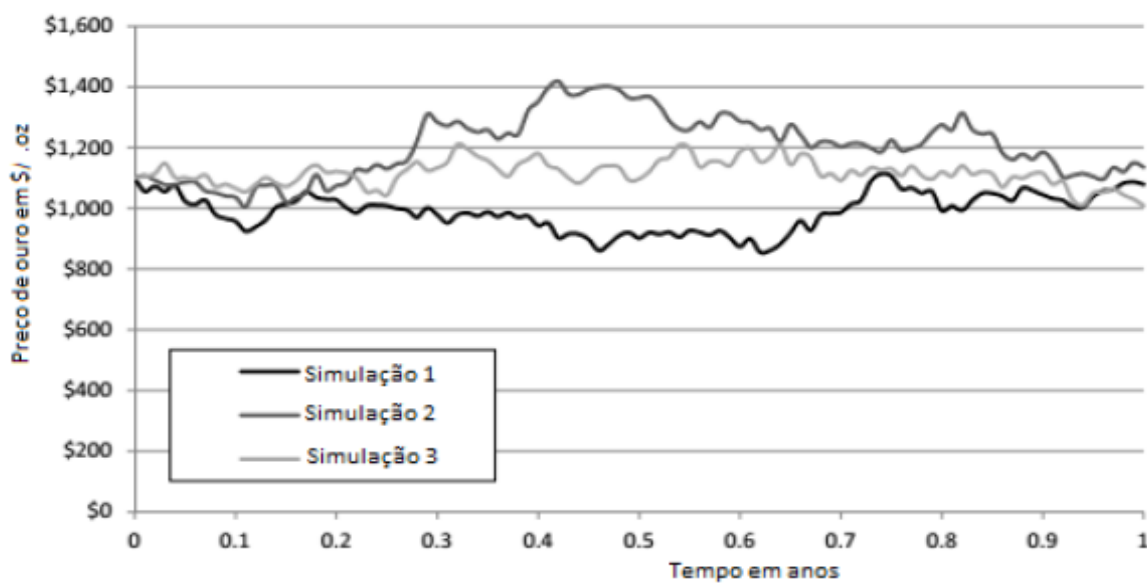


Figura 15: Simulação do preço de ouro usando MRM (Adaptado de BARR, 2012 *apud* CHANGANANE, 2017).

Segundo Miranda Júnior (2011), alguns autores sugerem uma divisão por escala de tempo para decompor a evolução dos preços e demonstrar características singulares da indústria mineral, seguindo três horizontes:

- Curto Prazo: Cotações motivadas por especulações em bolsa e movimentos de estoques;
- Médio Prazo: Cotações motivadas por ciclos de preços relacionados ao contexto de países industrializados;
- Longo Prazo: Cotações que dependem de fenômenos de substituição e evolução dos custos marginais da produção.

Além disso, caracteriza também os principais fatores que influenciam a oferta e demanda, agindo diretamente no preço de qualquer produto:

- Oferta: Intensidade de capital, períodos longos de produção, monopólio, tecnologia antiga, competição, dentre outros;
- Demanda: Crescimento lento, natureza não diferenciada dos metais e demanda derivada.

Miranda Júnior (2011), ainda classifica alguns grupos de substâncias minerais que apresentam comportamentos específicos em relação a valoração e seus mecanismos de fixação de preços e sua comercialização, sendo estes: Minerais metálicos, minerais energéticos, minerais industriais e rochas industriais. Estes possuem políticas distintas para fixação de preço, apresentando diferenças significativas até mesmo para os minerais pertencentes ao mesmo grupo.

...há frequentemente uma oscilação de preços para a maioria dos minerais metálicos, dificultando a previsão de preços. Por outro lado, os minerais não metálicos, em geral, apresentam preços mais estáveis, ainda assim, suscetíveis a oscilações bruscas, sobretudo para os bens comercializados no mercado internacional. (MIRANDA JÚNIOR, 2011:39)

Uma série de outras fontes podem ser consultadas para auxílio na definição do preço das commodities, com destaque para as revistas *Metals Week* e *Metal Minerals*,

para os minerais metálicos, e as revistas *Coal Age* e *Industrial Minerals* para os não metálicos (MIRANDA JÚNIOR, 2011).

#### 2.2.1.2 Custos e suas classificações

O conhecimento e melhor aplicação dos custos, que terão papel principal no presente estudo, tem influência direta e significativa na atratividade de qualquer empreendimento, e não é diferente para a mineração. Pereira (2014), diz que muitas empresas vão a falência por má administração racional dos custos. Estudar os custos e suas aplicações adequadas podem diminuir e tornar uma linha qualquer de produção mais eficiente.

...os custos devem ser gerenciados de forma racional, pois com o controle de custos, ficam mais precisos os planejamentos gerenciais e os controles das operações tanto da linha de produção como dos departamentos afins, até chegar às despesas administrativas, que dão suporte para a linha de produção. Além desses itens, que já são importantes, o controle e gerenciamento dos custos ainda consegue fornecer subsídios para outras tomadas de decisões essenciais como a formação de preço dos produtos e serviços comercializados pela empresa, que passa necessariamente pelo controle dos custos. (PEREIRA, 2014:15)

Os custos, conceitualmente, são aqueles gastos aplicados de forma direta ao produto e se diferenciam das despesas, que são aqueles gastos não diretos. No entanto, os dois possuem atuação, mesmo que diferenciada, no resultado financeiro do empreendimento. Entender suas distinções facilita tomadas de decisões corretas.

A forma mais comum de diferenciação dos custos, é feita por Miranda Júnior (2011), classificando-os em operacionais (OPEX) e investimentos ou custos de capital (CAPEX).

Os custos operacionais são os custos diários e relacionados com a produção, que incluem salários, materiais e serviços, e podem ser variáveis e fixos. Estão associados de forma contínua ao funcionamento da operação e também podem ser estratificados em custos diretos, indiretos e gerais. Custos operacionais variáveis são aqueles que flutuam com o nível de produção (figura 16) e os fixos não sofrem

oscilação nos limites da capacidade instalada (figura 17) (CHANGANANE, 2017) e (MIRANDA JÚNIOR, 2011).

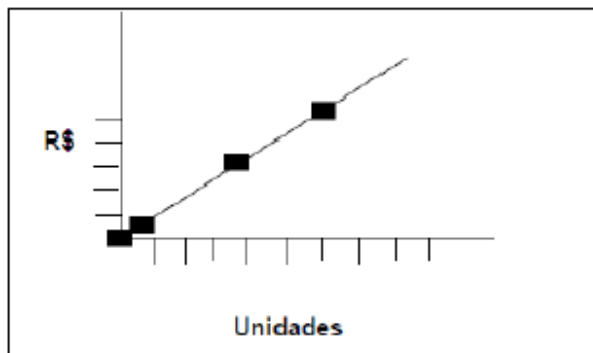


Figura 16: Comportamento dos custos variáveis (CARARETO *et al*, 2006 *apud* CHANGANANE, 2017:10).

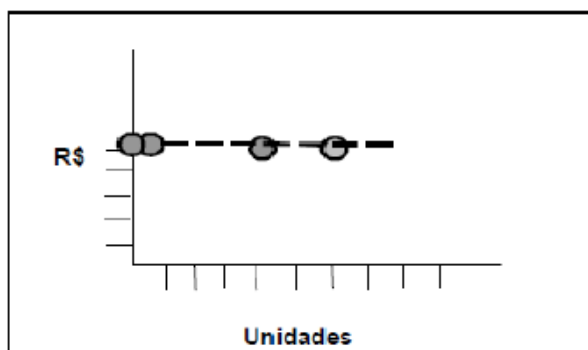


Figura 17: Comportamento dos custos fixos (CARARETO *et al*, 2006 *apud* CHANGANANE, 2017:10).

Segundo Anglo Gold Ashanti (2014), os custos variáveis são aqueles que sofrem variação conforme quantidade de material consumido ou aproveitado, ou seja, estão vinculados a quantidade de insumos ou materiais processados. Os custos fixos, seriam custos orientados pelo tempo, podendo ser realmente fixos em uma escala temporal reduzida, podendo sofrer alterações e oscilações conforme mudanças estratégicas operacionais voltadas ao ciclo de vida natural do ativo.

Miranda Júnior (2011) relaciona os custos diretos aos custos variáveis, os custos indiretos aos custos fixos e os custos gerais as despesas. Os custos diretos estão relacionados aos custos com pessoas operacionais e materiais como itens de reposição, consumo, energia e matéria prima. Os custos indiretos relacionam-se ao

pessoal administrativo, seguros, depreciação, juros e outros. Os custos gerais seriam as despesas ou custos a nível corporativo.

Os investimentos ou custos de capital estão associados a instalações e infraestruturas necessárias e substituições de equipamentos para manutenção da operação, podendo também ser estratificados em custos fixos e variáveis de capital. Existem também o chamado capital de giro, necessário na iniciação da produção, com objetivo de “*saldar obrigações durante o desenvolvimento do projeto (start-up)*” (CHANGANANE, 2017:12) (Apêndice II).

Segundo Changanane (2017), os custos de capital total e o custo total médio podem ser expressos pelas equações 01 e 02:

- Custos de Capital:

$$C_{tc}(N_p) = C_{fc} + C_{vc}(N_p) \quad (01)$$

Onde:

$C_{tc}$  = Custos totais de capital;

$N_p$  = Nível de produção;

$C_{fc}$  = Custos fixos de capital;

$C_{vc}$  = Custos variáveis de capital.

- Custo total médio unitário:

$$C_{tm}(N_p) = \frac{C_{texn}(N_p) + C_{of}}{Q(N_p)} + \frac{C_{of}}{g(N_p)} \quad (02)$$

Onde:

$C_{tm}$  = Custo total médio unitário;

$N_p$  = Nível de produção;

$g$  = Teor médio da reserva;



$C_{texn}$  = Total de capital expedido em  $n$  anos;

$Q$  = Taxa de produção anual;

$C_{of}$  = Custos operacionais fixos.

Uma série de outros estudos bibliográficos e equações úteis à estimativa dos custos podem ser encontradas em Miranda Júnior (2011), mas não serão detalhadas no presente trabalho por não haver aplicação objetiva.

Além das classificações gerais, os custos precisam sofrer maior detalhamento, estratificação e alocação, quão maior for o nível de complexidade produtiva. Anglo Gold Ashanti (2020), apresenta a importância de classificar os custos por localização (*location* – Apêndice II), como custos de mina, de tratamento, custos administrativos, custos de venda, impostos, de reabilitação ambiental, dentre outros. Maior detalhamento ainda, por tipo e localização, como custos de manutenção de mina e custos de manutenção de tratamento, são muito comuns.

Como fator modificador do processo de publicação de Reserva Mineral, alguns aspectos precisam ser encontrados em um estudo de viabilidade adequado, segundo CBRR (2016), como: descrição e justificativa da estimativa de custo apresentada, incluindo cotações formais de fornecedores, identificação dos itens de capital, cronograma de desembolso e orçamentação em base anual para estimativas gerais, além de lista detalhada de equipamentos com cotações dos itens principais, assim como dos componentes dos custos operacionais.

Um resumo detalhado dos custos de capital e operacionais, exibidos em categorias e nível de estudo, podem ser encontrados nas tabelas II e III:

Custo de Capital			
Categorias	Estudo Conceitual	Estudo de Pré-Viabilidade	Estudo de Viabilidade
<b>Base de estimativa incluindo as seguintes áreas:</b> Civil/ estrutural, arquitetônico, tubulações/ AVAC, elétrica, instrumentação, mão de obra para construção, produtividade da mão de obra, volumes de material/ quantidades, materiais/ equipamentos, preços, infraestrutura.	Ordem de magnitude, com base em dados históricos ou fatores. Engenharia <5% completo.	Estimativa usando fatores históricos ou porcentagens e cotações de fornecedores com base em volumes de material. Engenharia de 5-15% completa.	Detalhamento de engenharia com 15% a 25% completo, estimativa de lista de materiais, e cotações de diversos fornecedores.
Terceiros	Incluído no custo unitário ou como uma porcentagem do custo total	Percentual de custo direto por área para terceiros; histórico para os subcontratados.	Cotações formais de terceiros e subcontratados
Engenharia, compra e gerenciamento da construção (EPCM)	Porcentagem do custo estimado de construção	Porcentagem do custo de construção detalhado	Estimativa calculada de EPCM
Preços	FOB na mina, incluindo impostos e taxas	FOB na mina, incluindo impostos e taxas.	FOB na mina, incluindo impostos e taxas.
Custos de propriedade	Estimativa com base em dados históricos	Estimativa com base em experiência, baseada em projeto similar.	Estimativa preparada com base em orçamento detalhado em todas as fases
Conformidade ambiental	Baseada em dados históricos	Estimativa com base em experiência baseada em projeto similar	Estimativa preparada de um orçamento detalhado em todas as fases, para os projetos de engenharia e licenciamentos necessários.
Escaladores	Não considerado	Baseado no percentual do orçamento atual da organização	Baseado em custo por área com risco incluso
Nível de precisão	+/- 50%	+/- 25%	+/-15%
Intervalo de contingência (provisão para itens necessários não especificados no escopo).	+/- 25%	+/- 15%	+/-10% (determinado com base em análise de risco)

Tabela II: Custos de capital, categorias e suas precisões de estimativa (CBRR, 2016:49).

Custo Operacional			
Categorias	Estudo Conceitual	Estudo de Pré-Viabilidade	Estudo de Viabilidade
Base para estimativas	Ordem de magnitude	Estimativas quantificadas com alguma fatoração	Descrever as premissas básicas usadas na estimativa de custos; Orçamento detalhado dos custos de operações unitárias; Uso mínimo de fatoração.
Quantitativos operacionais	Geral	Estimativas específicas com alguma fatoração	Estimativas detalhadas
Custos unitários	Baseados em dados históricos para fatores	Estimativas para mão de obra, energia e consumíveis, alguma fatoração	Cotações formais de fornecedores com pouca fatoração
Nível de precisão	+/-35%	+/-25%	+/-15%
Intervalo de contingência (provisão para itens necessários não especificados no escopo).	+/-25%	+/-15%	+/-10% (determinado com base em análise de risco)

Tabela III: Custos operacionais, categorias e suas precisões de estimativa (CBRR, 2016:50).

De forma geral, os custos precisam ser bem apresentados em níveis profundos de detalhamento e características: Sua categoria, sua classe, centro de custo, gerência, localização, descrição e justificativa. Pereira (2014:19) afirma que “Os custos devem ser identificados dentro de toda a cadeia produtiva, independente do objeto de custeio que a empresa adotar. Isso porque os custos serão custos sempre...”

### 2.2.1.3 Teor de Corte

O teor de corte é comumente tratado como um dos conceitos mais importantes do ambiente da mineração, representando, de certa forma, a potencialidade das Reservas Minerais, após aplicação sistemática dos Fatores Modificadores. Alguns autores vão conceituá-lo da seguinte forma:

1. *“Teor mínimo, ou qualidade, de material mineralizado que se qualifica como economicamente lavrável e disponível em determinado depósito.”* (CBRR, 2016:51);
2. *“...o teor mínimo necessário na lavra e operações de beneficiamento de um minério, o qual permite conduzir o projeto mineiro de forma rentável.”* (MIRANDA JÚNIOR, 2011:59);

3. “... o critério principal por meio do qual os especialistas de mineração tomam decisões daquilo que será considerado minério e estéril.” (CHANGANANE, 2017:41);
4. “...um dos parâmetros técnicos e econômicos que mais afetam a economia de uma empresa de mineração...” (ASSIS, 2016:09);
5. “...concentração mínima de uma commodity valiosa que resultará na lucratividade de uma tonelada de material.” (ANGLO GOLD ASHANTI, 2014:03).

De uma forma geral, o conceito de teor de corte possui correlação direta com o resultado financeiro/econômico de um empreendimento mineiro.

O cálculo do teor de corte pode sofrer algumas alterações específicas, dependendo da natureza da operação mineira, no entanto, de forma ampla pode ser representado pela equação 03, conforme Anglo Gold Ashanti (2014):

$$COG = \frac{C}{RP} \quad (03)$$

Onde:

$COG$  = Teor de Corte (*Cut-off-grade* – Apêndice II) expresso em concentração mineral por tonelada;

$C$  = Todos os custos associados após ponto de tomada de decisão entre minério e estéril;

$R$  = Percentual de recuperação mineral;

$P$  = Preço efetivo de venda do mineral, retirando imposto e custo de venda.

Contudo, os fatores modificadores técnico/econômicos, como o preço efetivo de venda, os custos de produção e a recuperação mineral, são as três variáveis gerais que fornecem informação para separação do material que deve ser processado na

usina (minério) e o que deve ser enviado para o depósito de estéril (MIRANDA JÚNIOR, 2011).

Como os fatores modificadores da Reserva Mineral não são estáticos, mas móveis, suas atualizações precisam ser recorrentes, o que inclui o cálculo do teor de corte. Segundo Changanane (2017:42), *“a definição de um teor de corte otimizado é uma função importante que tem sido monitorada durante toda a vida da mina”*. E não somente durante a vida da mina, mas durante qualquer adequado processo de publicação de Reserva. Se as variáveis mudam com o tempo, o teor de corte também muda.

De forma mais específica as operações subterrâneas e a céu aberto vão apresentar pequenas diferenças em relação ao cálculo do teor de corte, devido à natureza relativa do chamado ponto de tomada de decisão. Estes pontos de decisão, referem-se ao momento de escolher se o bloco mineral é minério ou estéril e, segundo Anglo Gold Ashanti (2014), podem ser relacionados com os seguintes momentos do ciclo produtivo:

- Momento do projeto do bloco de minério em minas a céu aberto;
- Qualquer local entre a atividade de mineração e o fluxo de processamento;
- Desenho do bloco de lavra;
- Entre os avanços do desenvolvimento.

Desta forma, para o cálculo do teor de corte, desconsidera-se os custos de mineração, com exceção daqueles que são adicionais ao processo de lavra, como perfuração, detonação seletiva e incremento do custo de transporte. Em outras palavras, considera-se somente o custo de mina incremental do minério em relação ao estéril. Enquanto nas operações subterrâneas, no caso da lavra, todo o custo de mineração precisa ser incluído, visto que, se não houver necessidade de retirar o bloco de lavra para continuidade operacional, este bloco pode ser deixado como pilar (ANGLO GOLD ASHANTI, 2014).

Portanto, de forma mais detalhada, a equação 04 é mais aplicável as operações a céu aberto e para o desenvolvimento das minas subterrâneas. A equação 05 se aplica a lavra das minas subterrâneas.

$$COG = \frac{C_{oim} + C_p}{RP} \quad (04)$$

$$COG = \frac{C_m + C_p}{RP} \quad (05)$$

Onde:

$COG$  = Teor de Corte (*Cut-off-grade*) expresso em concentração mineral por tonelada;

$C_{oim}$  = Custo incremental do minério na mina;

$C_m$  = Custo da mina;

$C_p$  = Custo da planta;

$R$  = Percentual de recuperação mineral;

$P$  = Preço efetivo de venda do mineral, retirando imposto e custo de venda.

Os custos de capital, especificamente o chamado SIB (*sustaining in business*), deve ser incluído no cálculo do teor de corte, devido à natureza de continuidade e manutenção do funcionamento das operações. Anglo Gold Ashanti (2014), propõe a tabela IV considerando a inclusão ou não de determinados custos em suas respectivas localizações, para o cálculo do teor de corte, dependendo de qual seja o gargalo da produção: a planta de beneficiamento ou a mina.

	<b>Descrição</b>	<b>Tipo do Custo</b>	<b>Restrição na Usina</b>	<b>Restrição na Mina</b>
<b>Minério prêmio</b>	Qualquer diferencial no custo de mina incorridos no ponto de decisão de classificação de minério e estéril,	Variável	Incluído	Incluído
<b>Gerenciamento de estoque</b>	Qualquer custo associado com os estoques, recuperação, recarregamento e transporte do minério de um depósito temporário para o ponto de alimentação do processo,	Variável	Incluído	Incluído
<b>Usina - Variável</b>	Custos variáveis de operação associados com o tratamento da massa de minério. Ex: Reagentes, energia,	Variável	Incluído	Incluído
<b>Usina - Fixo</b>	Custos fixos associados com a disponibilidade da planta para receber minério. Ex: Mão de obra, supervisão, gestão.	Fixo	Incluído	Não Incluído
<b>G&amp;A</b>	Custos associados a manter a operação aberta - mesmo que possam mudar ao longo do tempo (ex: quando a mina é exaurida, os custos gerais administrativos devem ser reduzidos). Estes são considerados custos fixos no cálculo do teor de corte.	Predominantemente Fixo (precisa ser analisado e utilizado como apropriado)	Incluído	Não Incluído
<b>Impostos estaduais, impostos de produção direitos de exportação, encargos de refino</b>	Quaisquer custos que são expressos com um % do preço do ouro ou um encargo fixo de \$/oz deve ser descontado do preço de planejamento para fornecer um preço efetivo usado nos cálculos.	Receita	Incluído	Incluído
<b>SIB - Custos de capital para sustentabilidade</b>	Custos de capital para sustentabilidade relacionado a todas as atividades não mineradoras.	Variável	Incluído	Incluído

Tabela IV: Custos e suas localizações para o cálculo do teor de corte (Modificado de ANGLOGOLD, 2014:07).

Considerando que o cálculo do teor de corte apresenta a quantidade de minério disponível e que, conforme Assis (2016), precisa atender os limites de produção visando maximização do VPL (Valor Presente Líquido) do empreendimento, o cálculo do teor de corte marginal entra em cena, quando isso não ocorre.

Na tabela IV pode-se perceber que, quando a mina é o gargalo das operações, os custos administrativos e os custos fixos da planta não devem ser considerados no cálculo do teor de corte. Este fato abre caminho para que os chamados minérios marginais complementem a capacidade instalada da planta de beneficiamento.

#### 2.2.1.4 Minérios Marginais

O conceito de marginalidade é comumente aplicado a projetos e se relaciona com a alta probabilidade de resultado econômico negativo ou, segundo Miranda Júnior (2011:261), como “...aqueles que, a cada avaliação sucessiva, geram uma taxa interna de retorno próxima da taxa mínima de atratividade ou um valor atual líquido perto de zero”. Ou seja, é utilizado em projetos que operam com margem estreita de lucro.

Os minérios marginais, segundo Assis (2016:20), “*não geram resultado positivo*” considerando a relação receita e custos totais, e precisam ter seus custos reavaliados. Ou seja, aplicando os custos totais do complexo, o resultado econômico na produção deste minério é negativo.

Considerando esta aparente objeção financeira, algumas observações ainda precisam ser levadas em conta no exercício de avaliação dos minérios marginais, para que não haja sua utilização indiscriminada, que seria prejudicial ao empreendimento:

...a mudança fundamental na abordagem é reconhecer que maximizar o fluxo de caixa não é o mesmo que maximizar valor e o impacto nos cálculos do valor no tempo podem ser significativos. Vários artigos foram escritos e é comumente afirmado que uma estratégia de teor de corte otimizado pode agregar valor de 5 a 10% (ou mais) além de uma estratégia de teor de corte marginal. A intenção de incluir esta breve introdução é dar uma compreensão básica das oportunidades e motivar os vários grupos de planejamento a começar a explorar a melhor forma de aplicar esses princípios para agregar mais valor à empresa. (ANGLO GOLD ASHANTI, 2014:15)

Em outras palavras, o conceito de marginalidade dos minérios precisa ser tratado com devido cuidado, devendo ser considerado em termos de planejamento estratégico.

Devido as complexidades individuais de cada projeto, com suas minas a céu aberto e subterrâneas e com fluxos produtivos de único e múltiplo elemento, entender a melhor aplicação metodológica dos minérios marginais pode ser consistente, financeiramente falando (ANGLO GOLD ASHANTI, 2014).

Conforme, Anglo Gold Ashanti (2014), quando o gargalo operacional está localizado na planta, não há necessidade de aproveitamento direto de minérios



marginais, visto que o minério ótimo, calculado com base no teor de corte ótimo (incluindo todos os custos), já cumpre a função de suprir a capacidade instalada da usina, durante a vida útil da mina. Mesmo assim, neste caso, ainda há a opção de aproveitamento dos minérios marginais de forma indireta, quando estes servem para alimentar a usina após o fim da vida útil da mina, momento onde ocorre reduções significativas dos custos administrativos do complexo. No entanto, a aplicação mais útil dos minérios marginais ocorre quando o gargalo de produção se encontra na mina. Neste caso se apresentam como opção para suportar toda a capacidade ociosa requerida pelo complexo de beneficiamento.

De forma mais resumida, os custos administrativos e os custos fixos da planta de beneficiamento serão gastos, mesmo que a planta não atinja sua capacidade instalada. Portanto, minério marginal é aquele que traz benefício financeiro de oportunidade, suportando o espaço ocioso de produção da usina e gerando valor ao fluxo de caixa do empreendimento. Daí, a não inclusão dos custos administrativos e dos custos fixos da planta no cálculo do teor de corte marginal.

Ainda assim, o resultado do impacto financeiro do aproveitamento dos minérios marginais é pouco conhecido bibliograficamente, e entender as ferramentas para exercício de fluxo de caixa, contribuirá com o presente estudo, em especial, para os casos em que a mina é o gargalo produtivo, bem comum no contexto das minas subterrâneas de baixa espessura.

#### 2.2.1.5 Avaliação Econômica

Absorvidas e entendidas as aplicações dos fatores modificadores, uma série de indicadores e conceitos ainda suportarão a tomada de decisão financeira do empreendimento mineiro. Miranda Júnior (2011) comenta que o Período de Retorno (PR), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) são indicadores que permitem conclusões e decisões em um projeto.

A apresentação dos resultados através de métodos conhecidos por todas as partes interessadas do projeto, facilita a comunicação, até mesmo daqueles que não

conhecem nada de mineração. A avaliação econômica possui ferramentas e linguagens universais:

“Destá maneira, na avaliação de um projeto de investimento de capital, notadamente uma jazida mineral, métodos avaliativos apropriados devem ser utilizados, para permitir um amplo entendimento das partes interessadas (*stakeholders*), acionistas, bancos de investimento, etc... pois nem sempre os investidores são ligados ao setor mineral, portanto não estão familiarizados com a atividade de mineração – à qual pode ser considerada complexa em função da miríade de variáveis envolvidas.” (MOREIRA JÚNIOR, 2011:184)

O exercício de fluxo de caixa apresenta-se como ferramenta fundamental de apresentação de resultado ou arquivo de saída (*output* – Apêndice II) para todo e qualquer empreendimento de mínima importância. Através deste fluxo é possível entender a representatividade dos custos de capital, dos financiamentos, dos impostos, dos encargos de capital - como depreciação, amortização fiscal e exaustão - na rentabilidade do projeto. Esta ferramenta é muito útil na análise de investimentos (SOUZA, 2009).

Souza (2009:09) afirma que “os resultados econômicos de um projeto de mineração são calculados a partir da distribuição no tempo de seus FCs...”, ou seja, o fluxo de caixa entrega resultados econômicos a partir das variações e fluxos financeiros da empresa. Um exemplo, pode ser observado na tabela V:

Item\Ano	1	2	2+1	2+2	2+3	2+4	2+5
(1) Invest. Inicial	-550	-700					
(2) Valor do Salvado							250
(3) Receita			650	650	650	650	650
(4) Custo			350	350	350	350	350
(5) Imposto de Renda				10	20	30	40
<b>FC</b>	<b>-550</b>	<b>-700</b>	<b>300</b>	<b>290</b>	<b>280</b>	<b>270</b>	<b>510</b>

Tabela V: Diagrama de fluxo de caixa anual (Adaptado de SOUZA, 2009:10).

Onde:  $FC = (1) + (2) + (3) - (4) - (5)$

É possível perceber, neste fluxo de caixa simplificado, um investimento sendo aplicado nos dois primeiros anos de um projeto específico, além dos aportes anuais de receita e custo gerando um resultado financeiro chamado fluxo de caixa.

Uma série de detalhamentos do fluxo de caixa são apresentados por Souza (2009), considerando capital próprio, antes e depois do imposto de renda e utilizando recursos de terceiros. Na tabela VI, tem-se um exemplo de distribuição do FC detalhado:

Item\Ano	0	1	2	3	4	5
(1) Invest. Inicial	-150.0					
(9) Financiamento	100.0					
(10) Amortização do Financiamento		-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	
(11) Juros do Financiamento		-10.0	-7.5	-5.0	-2.5	
(12) FC do Financiamento: (9)+(10)+(11)	100.0	-35.0	-32.5	-30.0	-27.5	
(13) Investimento com Recursos Próprios: (1)+(12)	-50.0	-35.0	-32.5	-30.0	-27.5	
(2) Receita Anual		80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
(3) Custo Anual		30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
(4) Lucro Antes do IR: (2)-(3)		50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
<b>(III) - FC do Capital Próprio antes do Imposto de Renda: (13)+(4)</b>	<b>-50.0</b>	<b>15.0</b>	<b>17.5</b>	<b>20.0</b>	<b>22.5</b>	<b>50.0</b>
(5) Depreciação		30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
(6') Lucro Tributável: (4)-(5)+(11)		10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
(7') Imposto de Renda - IR: 30%x(6')		3.0	3.8	4.5	5.3	6.0
(8') Lucro Após o IR: (4)-(7') = (6')-(7')+(5)-(11)		47.0	46.3	45.5	44.8	44.0
<b>(IV) - FC do Capital Próprio após o IR: (III)-(7') = (13)+(8')</b>	<b>-50.0</b>	<b>12.0</b>	<b>13.8</b>	<b>15.5</b>	<b>17.3</b>	<b>44.0</b>

Tabela VI: Distribuição do FC de capital próprio (Adaptado de SOUZA, 2009:23).

Como a proposta metodológica do presente estudo é fazer correlações financeiras considerando aproveitamento ou não dos minérios marginais, finaliza-se a abordagem da avaliação econômica, apenas conceituando os principais indicadores do exercício do fluxo de caixa:

- Depreciação: “...é a redução do valor que ocorre, pelo desgaste de um bem, à medida que ele é utilizado.” (Souza, 2009:28);
- Amortização: “...é a redução de valor do direito devida à extinção gradativa do mesmo com o decurso do tempo.” (Souza, 2009:30);
- Capital de Giro: “é a diferença entre o ativo circulante (componente de maior liquidez do ativo – direitos da empresa) e o passivo circulante (componente de maior exigibilidade do passivo – obrigações da empresa).” (Souza, 2009:30);
- Valor Presente Líquido (VPL): “...valor dos fluxos de caixa futuros somados e descontados no tempo por uma taxa de custo de capital conhecida.” (MENDES, 2015:21);

- Taxa Interna de Retorno (TIR): “...*quantidade de juros obtida por unidade de capital investida*” (MENDES, 2015:26 *apud* MAGNI, 2012:31).

## 1 - METODOLOGIA

O presente estudo se realiza na mina subterrânea, em Córrego do Sítio, Santa Bárbara/MG, da empresa Anglo Gold Ashanti (AGA). O propósito é apresentar uma análise financeira comparativa e uma estrutura metodológica de aproveitamento dos minérios marginais e seus impactos no fluxo de caixa da empresa, com foco em doze meses, utilizando como referência os corpos Carvoaria e Laranjeiras, pertencentes a Mina 1, que se encontram em operação em ritmo de retomada ou *ramp-up*, pelo método *sublevel stoping*, com sequência em *top-down* (Apêndice II).

Para auxílio na definição dos parâmetros de entrada e fatores modificadores, um fluxo de processo pode ser observado na figura 18, abaixo:



Figura 18: Fluxo de trabalho para publicação de Reservas (Elaboração Própria).

### 3.1 DADOS DE ENTRADA

Os dados de entrada, disponibilizados pela AGA, podem ser descritos abaixo:

- Levantamento topográfico de superfície e subterrâneo, da lavra e desenvolvimento dos corpos;
- Modelo de blocos atualizado dos corpos Carvoaria e Laranjeiras, foco do estudo;
- Preço do ouro e câmbio para avaliação econômica;
- Banco de dados completo dos custos de produção;
- Fatores modificadores utilizados na publicação de Reserva em 2021;
- Dentre outros.

Os softwares específicos que suportam os trabalhos de design das minas, avaliação econômica e sequenciamento de produção são fornecidos pela empresa, conforme abaixo:

- Design: Studio UG – Datamine;
- Avaliação Econômica: EPS – Datamine;
- Sequenciamento de Produção: SOT – Datamine.

Os conceitos e equações demonstrados na revisão bibliográfica são utilizados na preparação, estratificação e análise do banco de dados de custo, no cálculo do teor de corte ótimo e marginal, além do exercício financeiro de fluxo de caixa.

#### 3.1.1 Levantamento topográfico

O banco de dados com o levantamento topográfico de superfície, dos realces e galerias são disponibilizados no servidor da empresa pela equipe de topografia (Apêndice I).

Todo o banco de dados com o levantamento topográfico da região de interesse, seja em linha ou *wireframe* (Apêndice II), é validado e suporta a depleção do modelo de blocos, evitando informar minério já lavrado como reserva.

### 3.1.2 Modelo de Blocos

O modelo de blocos também é disponibilizado no servidor da AGA pela equipe de geologia, juntamente com seus respectivos *handovers* (Apêndice II). Para a presente pesquisa, utiliza-se o modelo de blocos e *wireframe* geológica integrada para Carvoaria e Laranjeiras (Apêndice I).

O modelo de blocos é validado pela equipe de planejamento, de forma quantitativa, através de uma análise estatística simplificada, com o intuito de verificar informações incorretas de densidade, volume, dentre outras. Também é feita uma análise qualitativa, ou visual, verificando o posicionamento correto dos tipos de rochas, classificação dos recursos, dentre outros. A tabela VII e a figura 19, abaixo, apresentam as validações:

FIELD	MINIMUM	MAXIMUM	RANGE	TOTAL	MEAN	VARIANCE
OXIDE	1	3	2	79321908	2.67574685	0.51657331
UK	351681	7731475	7379794	1.23277E+14	4158472.98	2.42538E+12
XC	56761.875	58866.875	2105	1.71488E+12	57847.78504	196560.2543
YC	86063.125	88014.375	1951.25	2.58523E+12	87207.01033	133803.4014
ZC	-350.9216945	1003.226525	1354.14822	14622593839	493.2604422	83378.59777
XINC	0.25	9.5	9.25	14535529.75	0.49032353	0.06794451
YINC	0.25	10	9.75	15917036.75	0.53692557	0.09773479
ZINC	0.01	10	9.99	63735647.83	2.14997928	5.89879769
ZONE	-	-	-	-	-	-
SERIE	0	330	330	3687485820	124.3890726	19856.98677
OREBODY	0	390	390	4031699094	136.0104482	22297.38875
AU	0.00973368	52.04611513	52.03638145	91944513.87	3.10154218	14.8316443
S	0	3.06455326	3.06455326	20688771.21	0.69788934	0.1946468
DENSITY	0.48634148	2.976025	2.48968352	82315717.83	2.77673632	0.00517891
NSAM	8	50	42	99998149	27.00407688	280.9264518
SVAU	1	4	3	52797061	1.78099056	1.0497783
KVAR	0.0473078	0.48494251	0.4376347	519200.4642	0.14020789	0.00371424
D	2.36297235	2.90177561	0.53880326	11735763.54	2.76959715	0.00264958
SVD	1	4	3	52921500	1.78518824	1.28216313
SVS	1	4	3	78337939	2.64255486	1.22118019
TONNES	0.00067945	155.3627541	155.3620746	56966873.66	1.92164985	18.55724549
RESOURCE	1	4	3	62435906	2.10613548	1.1512087
MALHA	1	3	2	20376932	1.57932604	0.55403385
CLASS	1	4	3	28337089	1.93227934	1.27984103

Tabela VII: Validação quantitativa do modelo de blocos (Elaboração Própria).

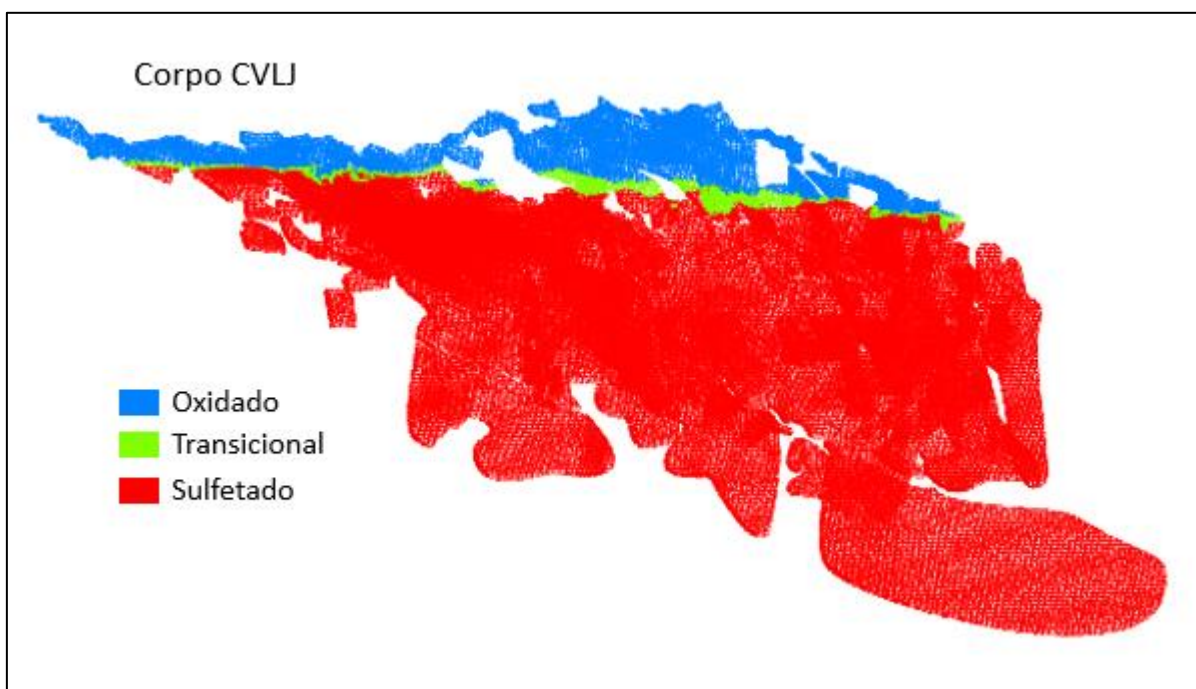


Figura 19: Validação qualitativa do modelo de blocos – Posicionamento dos tipos de rochas: Oxidado, transição e sulfetado (Elaboração Própria).

### 3.1.3 Parâmetros Econômicos: Preço, câmbio e custos

O preço do ouro, metal de interesse, e a taxa de câmbio para avaliação econômica do ativo são disponibilizados pela equipe internacional em um *guideline* (Apêndice II) oficial publicado (Apêndice I). Abaixo os parâmetros utilizados na publicação de reserva de 2021 (Figura 20), que servem de base para o presente estudo:

Preços oficiais do ouro e taxas de câmbio para relatórios de dezembro de 2021					
	AGA EXCO Preço do Ouro USD/Oz	Taxa de câmbio			
		Australia AUD/USD	Brasil USD/BRL	Argentina USD/ARS	Colômbia USD/COP
Reserva Mineral de Ouro 2021	1,200	0.74	5.15	112.04	3.208
Recurso Mineral de Ouro 2021	1,500	0.72	5.29	115.38	3.558

Figura 20: Preço do ouro e taxa de câmbio para avaliação econômica dos ativos (Modificado de Guideline AGA – Recurso e Reservas, 2021).

Contudo, utiliza-se o preço de 1,200 US\$/oz para a venda do ouro e uma taxa de câmbio de 5.15 US\$/R\$, na avaliação econômica do projeto como um todo. No



entanto, para verificação de ganho financeiro real, no fluxo de caixa do plano de produção para doze meses, período foco do estudo, aplica-se o preço de 1,750 US\$/oz e câmbio de 5.27 US\$/R\$ (orçamento dos próximos doze meses).

Para a avaliação dos custos de produção, utiliza-se um banco de dados disponibilizado pela gerência administrativo financeira (Apêndice I). Estes arquivos apresentam o nível de estratificação detalhado e necessário à presente pesquisa, contendo informações dos custos por localização, gerência, tipo, dentre outras.

### 3.1.4 Outros dados de entrada

#### 3.1.4.1 Parâmetros Geotécnicos

Os parâmetros geotécnicos, ou geomecânicos, são disponibilizados pela equipe de Mecânica de Rochas, e irão conter informações como dimensões dos pilares e falhas estruturais, caso necessário (Apêndice I).

A tabela VIII, mostra um resumo dos parâmetros geotécnicos que dizem respeito aos corpos de Laranjeiras e Carvoaria:

<b>Pilar Horizontal - Sill</b>	<b>Elevação (m)</b>	<b>CV/LJ (m)</b>	<b>Elevação (m)</b>	<b>CB/CR (m)</b>
	>571	4	>309	4
	571 / 329	5	< 309	5
	329 / -73	7		
<b>Distância entre Pilares Verticais - Ribs</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>CV</b>	<b>LJ</b>	<b>CB / CR</b>
	>503	72	55	36
	503 / 329	42	36	25
	329 / 152	30	26	20
	152 / -25	23	21	16
<b>Distância entre Realce e galeria</b>	<b>Elevation (m)</b>		<b>Distância (m)</b>	
	> 628		12	
	628 / 445		18	
	445 / 211		19	
	211 / 34		22	
	34 / -25		24	

Tabela VIII: Exemplo de parte dos parâmetros geotécnicos – CV/LJ (Elaboração Própria).

### 3.1.4.2 MCF

Para estimativa do mine call Factor (MCF – Apêndice II) é utilizado um banco de dados com o histórico realizado para o circuito sulfetado (Apêndice I).

Abaixo, figura 21 com o resumo do resultado dos últimos 24 meses que antecedem e suportam a publicação de reservas em 2021. Tem-se um MCF de -7.6% ou 92.4%. Para os corpos com modelagem de estéril, o MCF será de 91.9%, cerca de 1% abaixo do padrão realizado, conforme orientação da equipe de estimativa geológica:

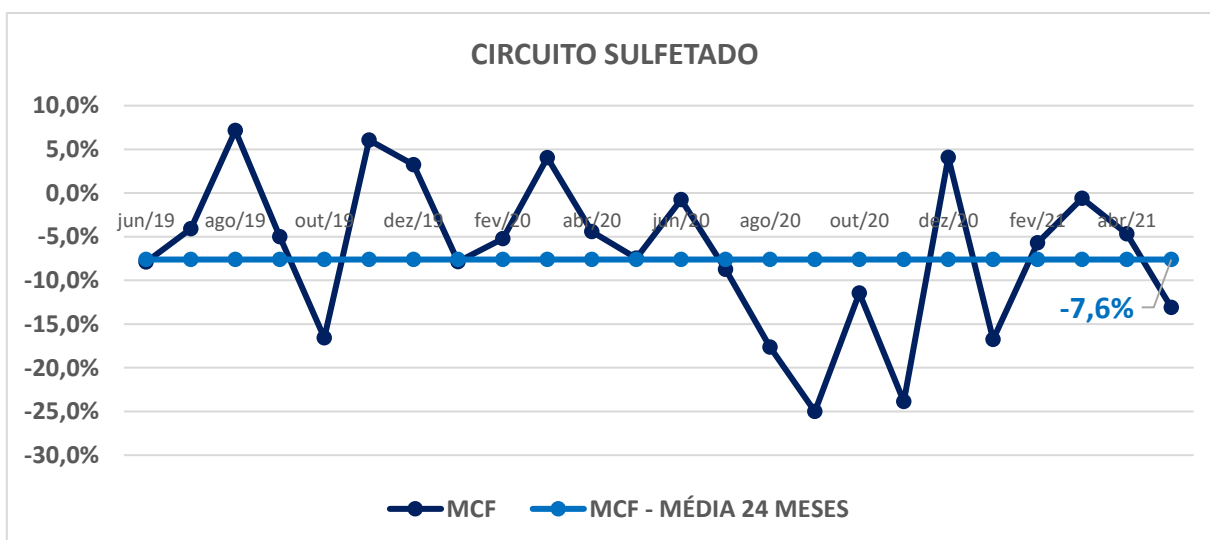


Figura 21: MCF – Histórico 24 meses circuito sulfetado (Elaboração Própria).

### 3.1.4.3 Recuperação e Diluição Operacional da Lavra

Para os parâmetros de qualidade de lavra, é utilizado um banco de dados com o histórico da recuperação e diluição operacional dos realces (Apêndice I).

A recuperação de lavra utilizada no presente estudo é de 90%, considerando histórico de 24 meses, excluindo alguns outliers (Apêndice II) da análise. Abaixo, figura 22, apresentando a diluição operacional em função da espessura real do realce, baseado na equação 06.

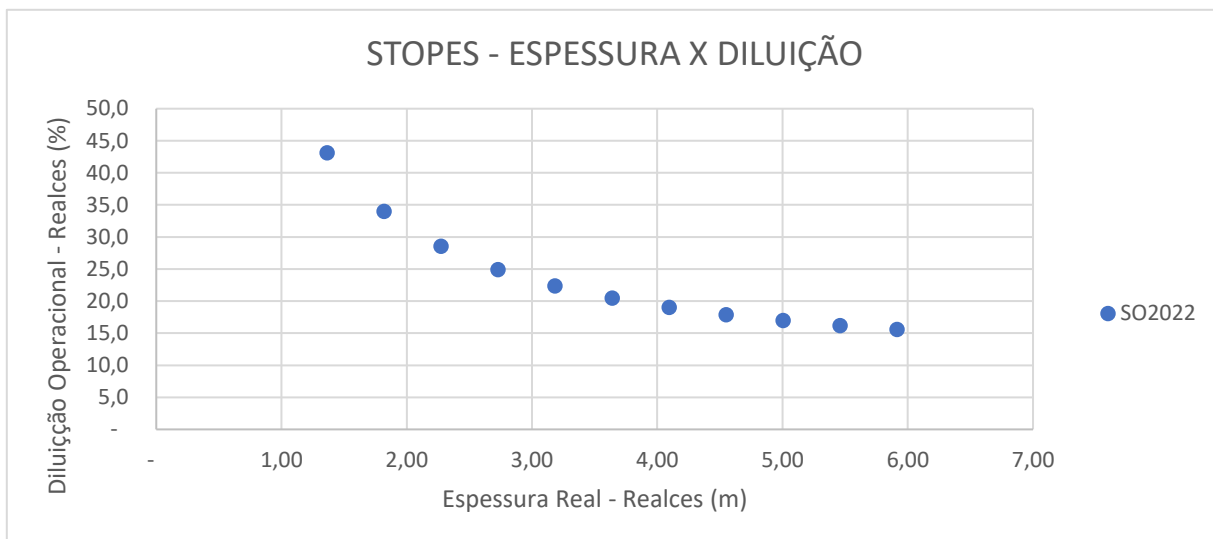


Figura 22: Diluição Operacional em função da espessura do realce (Elaboração Própria).

$$DILUIÇÃO OPERACIONAL (\%) = \frac{(0.376 + 0.0554 LG_i + 0.0386 E_p)^2 * 120}{E_p} \quad (06)$$

Onde:

$LG_i$  = Largura da galeria inferior;

$E_p$  = Espessura real do realce.

#### 3.1.4.4 Recuperação Metalúrgica

Para a recuperação metalúrgica, a equipe de metalurgia disponibiliza, via e-mail oficial, o valor de 90.7% para o minério sulfetado em tratamento no circuito de moagem, com base em resultados históricos e expectativas geometalúrgicas.

#### 3.1.4.5 Infraestrutura

A equipe de infraestrutura de mina subterrânea, disponibiliza um padrão de infraestrutura necessária a operação subterrânea, incluindo os parâmetros para posicionamento de casa de bomba, subestação, câmara de refúgio, dentre outros (Apêndice I).

#### 3.1.4.6 Outros

Para o exercício de sequenciamento de produção, são utilizados dados de capacidade produtiva já alocadas na operação, que podem ser observados abaixo:

- Capacidade mensal média disponível na Planta Metalúrgica: 54.2 kt/mês;
- Capacidade média mensal de Lavra em CV/LJ: 30.0 kt/mês;
- Capacidade média mensal de desenvolvimento em CV/LJ: 0.67 km/mês.

### 3.2 MÉTODO DE ANÁLISE

De posse dos dados de entrada, para a análise comparativa e metodológica de aproveitamento dos minérios marginais, segue-se o fluxo de avaliação, demonstrado na figura 23:

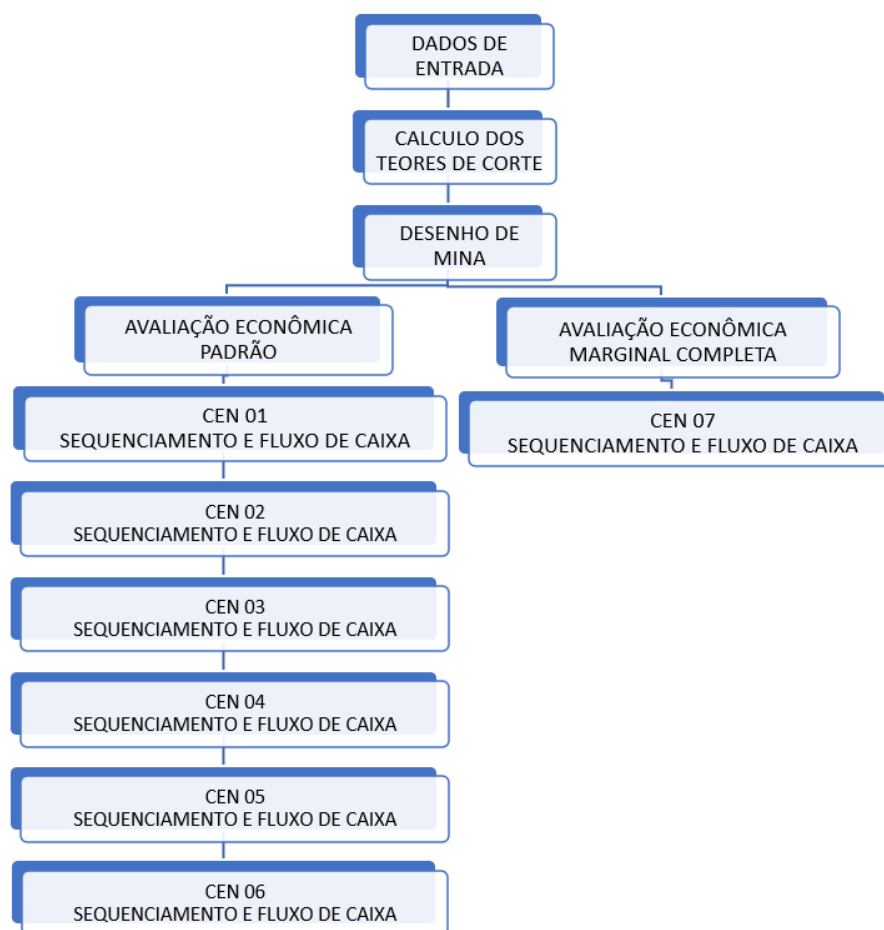


Figura 23: Fluxo de análise (Elaboração Própria).

Abaixo, um descritivo resumido para cada cenário:

- Cenário Base - Método tradicional:
  - CEN 01: Plano de produção que não considera os minérios marginais;
- Cenários Marginais sem incremento de desenvolvimento:
  - CEN 02: Cenário 01 mais os minérios marginais do desenvolvimento (Desconsidera o custo fixo da planta);
  - CEN 03: Cenário 01 mais os minérios marginais do desenvolvimento e da lavra (Desconsideram os custos fixos da

- planta metalúrgica) contidos no *strike* (Apêndice II) economicamente viável;
- CEN 04: Cenário 01 mais os minérios marginais do desenvolvimento e da lavra (Desconsideram os custos fixos da planta metalúrgica e parte do custo fixo da lavra) contidos no *strike* economicamente viável;
  - CEN 05: Cenário 01 mais os minérios marginais do desenvolvimento e da lavra (Desconsideram os custos fixos da planta metalúrgica e da lavra) contidos no *strike* economicamente viável.
- Cenário Marginal com incremento de desenvolvimento:
    - CEN 06: Melhor cenário anterior mais minérios e frentes marginais (Desconsideram o custo fixo da planta metalúrgica e da mina), complementando a capacidade instalada do desenvolvimento.
  - Cenário Marginal completo - sem restrições:
    - CEN 07: Plano de produção com aproveitamento dos minérios marginais (Desconsideram o custo fixo da planta metalúrgica e da mina) sem metodologia, restrição e utilização racional dos recursos.

Em resumo, o cenário 01 não possui incremento de minérios marginais, enquanto os cenários 02 a 07 possuem. Os cenários 02 a 05 não precisam de incremento de desenvolvimento, enquanto o cenário 06 precisa. O cenário 07, inclui o aproveitamento dos minérios marginais de forma não racional, desconsiderando os custos fixos em toda análise econômica da mina.

Na figura 24, tem-se um exemplo do posicionamento dos minérios e frentes marginais:

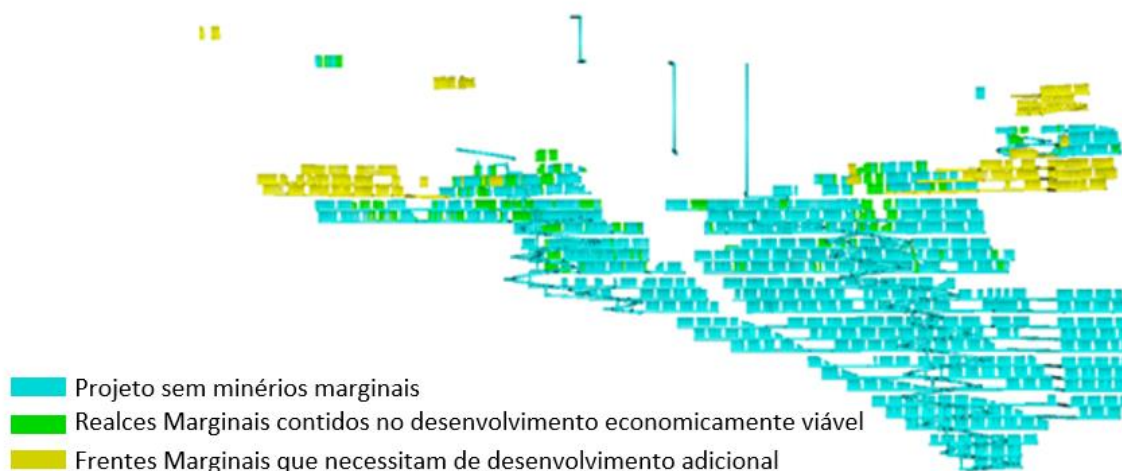


Figura 24: Exemplo do posicionamento dos minérios e frentes marginais em uma mina subterrânea (Elaboração Própria).

### 3.3 DADOS DE SAÍDA

Um comparativo financeiro dos cenários é avaliado, considerando os resultados do plano de produção que não tem aproveitamento dos minérios marginais, como plano base, contra todos os outros cenários que de alguma forma aproveitam os minérios marginais, em suas variações, como: Minério marginal do desenvolvimento, da lavra e regiões com fluxo de caixa marginal.

Contudo, a expectativa é identificar o melhor método de aproveitamento dos minérios marginais em uma mina subterrânea, de forma que seja percebido incremento financeiro no fluxo de caixa, com um melhor aproveitamento dos recursos alocados na operação.

## 2 - RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Os custos são classificados de acordo com o tipo (Opex, capex, fixo ou variável) e aplicados a cada localização do processo (Mina subterrânea 1, mina subterrânea 2, mina a céu aberto 1, mina a céu aberto 2, planta metalúrgica HL, planta metalúrgica Mill – Apêndice II). Abaixo (Figura 25), o gráfico exibe um resumo da proporção dos custos variáveis e fixo, conforme as localizações de interesse (Mina Subterrânea 1 e planta Metalúrgica Mill).

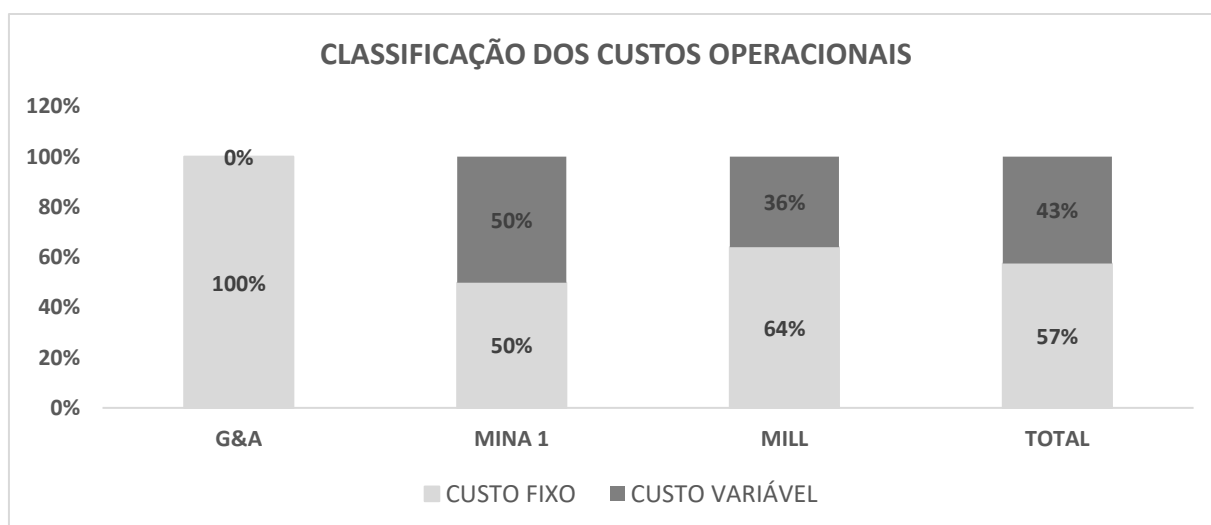


Figura 25: Classificação dos custos operacionais (Elaboração Própria).

Cerca de 57% dos custos aplicados ao circuito sulfetado, mina subterrânea 1 e planta metalúrgica Mill, são classificados pela equipe da gerência administrativa financeira como fixos, ou seja, possuem característica, de curto e médio prazo, de pouca ou nenhuma relação com a variação de produção do ativo. Os custos administrativos (G&A) já estão rateados entre os demais circuitos do complexo de produção.

Os custos de investimento (SIB), possuem caráter variável, ou seja, variam conforme a escala de produção.



## 4.2 CÁLCULO DO TEOR DE CORTE

Utilizando das equações 04 e 05, apresentadas na revisão bibliográfica, abaixo, tabela IX, com o teor de corte padrão e marginal calculado para a lavra e desenvolvimento.

			SIB	G&A	FIXED	VARIABLE	TOTAL
MINA	LAVRA	US\$/t	\$ 6	\$ -	\$ 41	\$ 20	\$ 67.5
	DESENVOLVIMENTO PRIMÁRIO	US\$/m	\$ 134	\$ -	\$ 460	\$ 1,938	\$ 2,531.4
	DESENVOLVIMENTO SECUNDÁRIO	US\$/m	\$ 134	\$ -	\$ 436	\$ 1,378	\$ 1,947.7
PLANTA	-	US\$/t	\$ 11	\$ 6	\$ 17	\$ 11	\$ 45.7

PREMISSAS		TEORES DE CORTE (g/t)	
Preço de venda (US\$/oz)	1,200	COG LAVRA	3.29
Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	5.15	COG DESENVOLVIMENTO	1.33
Custo de Venda (US\$/g)	0.58	MARGINAL COG LAVRA (Planta)	2.60
Recuperação Metalúrgica	90.70%	MARGINAL COG LAVRA (Planta/Mina-Parcial)	2.00
		MARGINAL COG LAVRA (Planta/Mina)	1.40
		MARGINAL COG DESENVOLVIMENTO	0.64

Tabela IX: Teor de Corte padrão e Marginal (Elaboração Própria).

O teor de corte da Lavra calculado é de 3.29 g/t e do desenvolvimento de 1.33g/t. Para os teores de corte marginais, calculou-se quatro tipos, como descritos abaixo:

- Teor de Corte Marginal da Lavra que gera receita desconsiderando o custo fixo da planta: 2.60 g/t;
- Teor de Corte Marginal da Lavra que gera receita desconsiderando o custo fixo da planta e parte do custo fixo da lavra: 2.00 g/t;
- Teor de Corte Marginal da Lavra que gera receita desconsiderando o custo fixo da planta e o custo fixo da lavra: 1.40 g/t;
- Teor de Corte Marginal do desenvolvimento que gera receita desconsiderando o custo fixo da planta: 0.64 g/t;

Para cada uma das simulações se aplica um destes teores de corte calculados.

### 4.3 RESULTADO CENÁRIO 01 - PLANO BASE

Na avaliação econômica dos corpos minerais Carvoaria e Laranjeiras, segue-se primeiramente pela análise padrão, como cenário base, desconsiderando os realces marginais para definição do posicionamento do desenvolvimento primário, utilizando o teor de corte ótimo. Os realces marginais, neste caso, são utilizados para posicionamento do desenvolvimento secundário, possibilitando o aproveitamento futuro destes ao longo de um *strike* (Apêndice II) economicamente viável.

Abaixo, figura 26, mostrando o posicionamento dos realces acima do teor de corte de 3.29g/t, assim como, os realces marginais separados por faixa e que não necessitam de desenvolvimento adicional, nos painéis de médio prazo, P05 a P09.

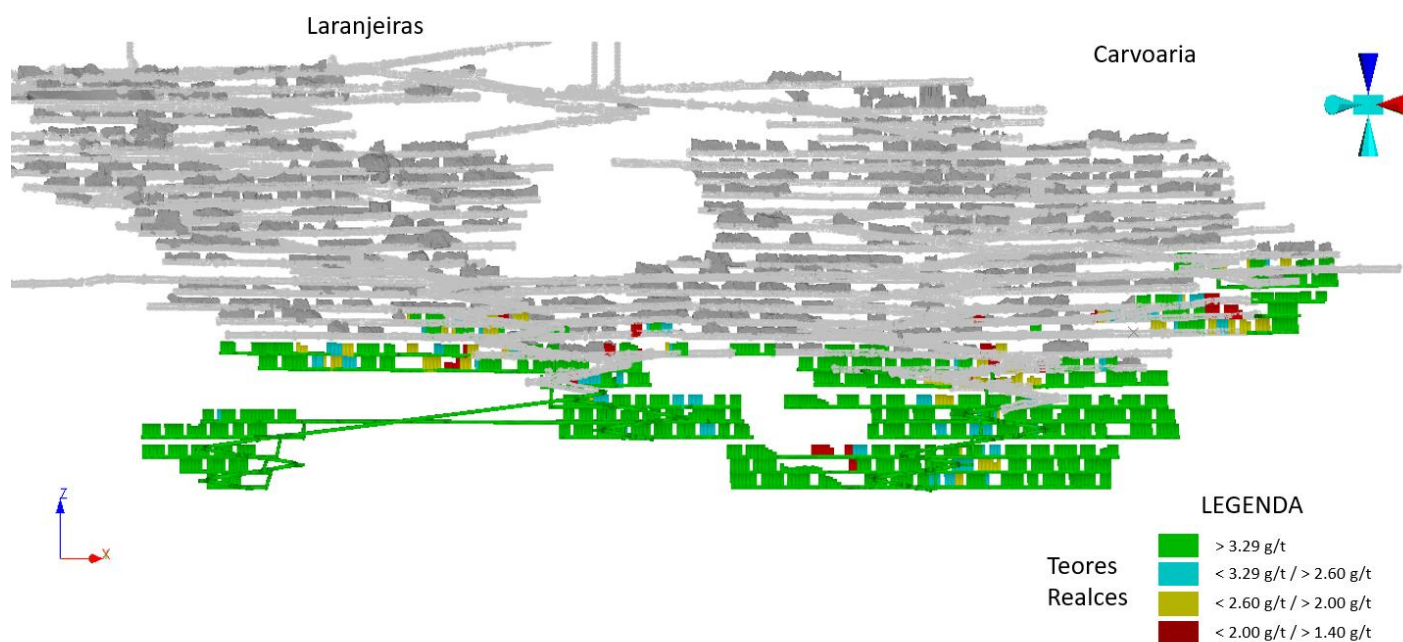


Figura 26: Layout – Mina1: Corpos Carvoaria e Laranjeiras – Painéis 05 a 09 (Elaboração Própria).

A análise econômica é feita em elevado nível de detalhe, por realce, em cada subnível.

Abaixo, tabela X, com o plano de produção mensal dos corpos minerais, Carvoaria e Laranjeiras, no plano base.

No cenário 01, que não considera o aproveitamento dos minérios marginais, tem-se 53.2 koz produzidas, apresentando ociosidade produtiva em relação a capacidade instalada na planta metalúrgica (Capacidade média de 54.2 kt por mês), na lavra dos realces (Capacidade média de 30.0 kt por mês) e no desenvolvimento (Capacidade média de 0.67 km por mês), conforme pode ser observado nas figuras 27, 28 e 29.

A tabela XI, apresenta o fluxo de caixa do plano base (Cenário 01), considerando o preço de venda do ouro de 1,750 US\$/oz e o câmbio de 5.27 R\$/US\$, valores esperados para os próximos doze meses.

		Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12	YEAR 1
MINA	Desenvolvimento Total (m)	681	596	682	660	671	630	676	636	465	569	518	598	7,382
	Desenvolvimento Primário (m)	138	197	336	214	182	269	310	264	164	323	262	283	2,943
	Desenvolvimento Secundário (m)	543	399	346	445	488	361	366	372	301	246	256	316	4,440
	Massa de Estéril (t)	30,745	22,892	35,881	22,780	28,824	30,521	32,806	31,004	18,759	28,972	24,220	25,033	332,438
	ROM Desenvolvimento													
	Massa (t)	17,418	19,954	14,079	24,576	19,011	15,237	16,512	15,170	14,719	13,048	13,803	18,672	202,200
	Teor (g/t)	2.70	2.96	2.60	3.23	2.17	2.55	2.49	2.67	2.96	2.90	3.26	3.33	2.83
	Au (Oz)	1,510	1,901	1,175	2,554	1,324	1,251	1,322	1,302	1,402	1,216	1,447	1,998	18,401
	ROM Lavra													
	Massa (t)	30,642	28,404	18,808	20,812	9,337	18,689	28,268	12,779	10,442	21,226	29,568	19,824	248,800
	Teor (g/t)	4.83	4.50	5.05	5.83	7.09	5.85	5.29	4.74	5.02	5.04	4.34	4.42	5.04
	Au (Oz)	4,762	4,105	3,052	3,899	2,127	3,518	4,805	1,949	1,686	3,441	4,126	2,815	40,286
	ROM Total													
	Massa (t)	48,061	48,358	32,888	45,389	28,348	33,927	44,779	27,948	25,161	34,274	43,371	38,497	451,000
	Teor (g/t)	4.06	3.86	4.00	4.42	3.79	4.37	4.26	3.62	3.82	4.23	4.00	3.89	4.05
	Au (Oz)	6,272	6,006	4,227	6,453	3,451	4,769	6,127	3,251	3,088	4,657	5,573	4,813	58,686
PLANTA	Massa (t)	48,061	48,358	20,725	56,522	29,378	33,927	44,779	27,948	25,161	34,274	43,371	38,497	451,000
	Teor (g/t)	4.06	3.86	4.00	4.34	3.79	4.37	4.26	3.62	3.82	4.23	4.00	3.89	4.05
	Au Feed (oz)	6,272	6,006	2,664	7,884	3,583	4,769	6,127	3,251	3,088	4,657	5,573	4,813	58,686
	Rec (%)	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	Au Produzido (oz)	5,689	5,448	2,416	7,151	3,250	4,325	5,557	2,949	2,801	4,224	5,055	4,365	53,229

Tabela X: Plano de Produção Mensal – Cenário 01 - Base (Elaboração Própria).

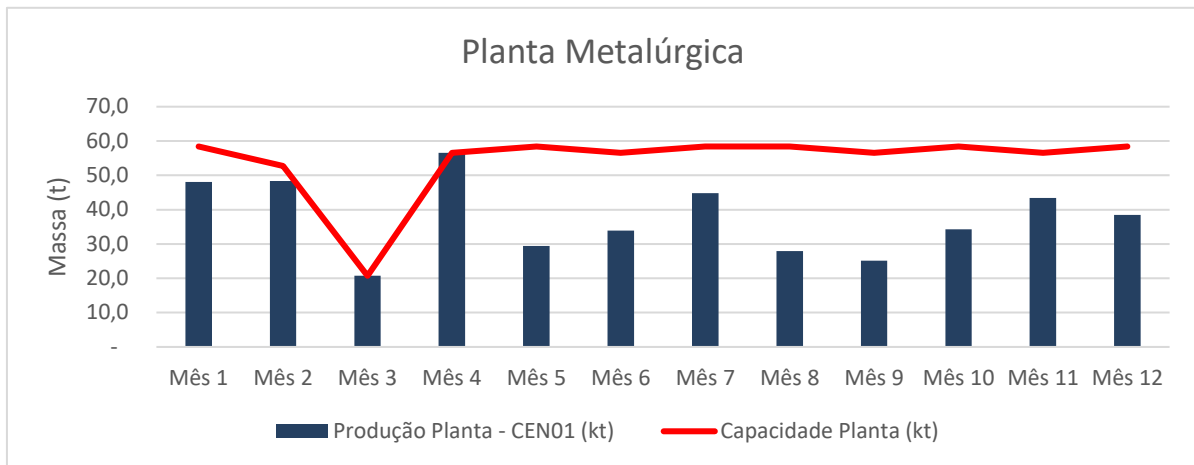


Figura 27: Capacidade e Produção da planta Metalúrgica – Cenário 01 (Elaboração Própria).

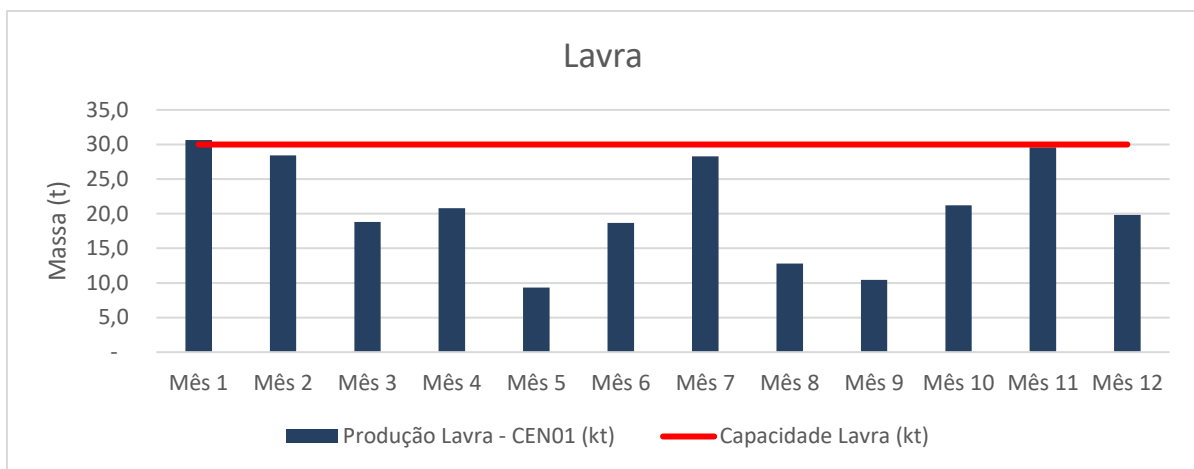


Figura 28: Capacidade e Produção da lavra – Cenário 01 (Elaboração Própria).

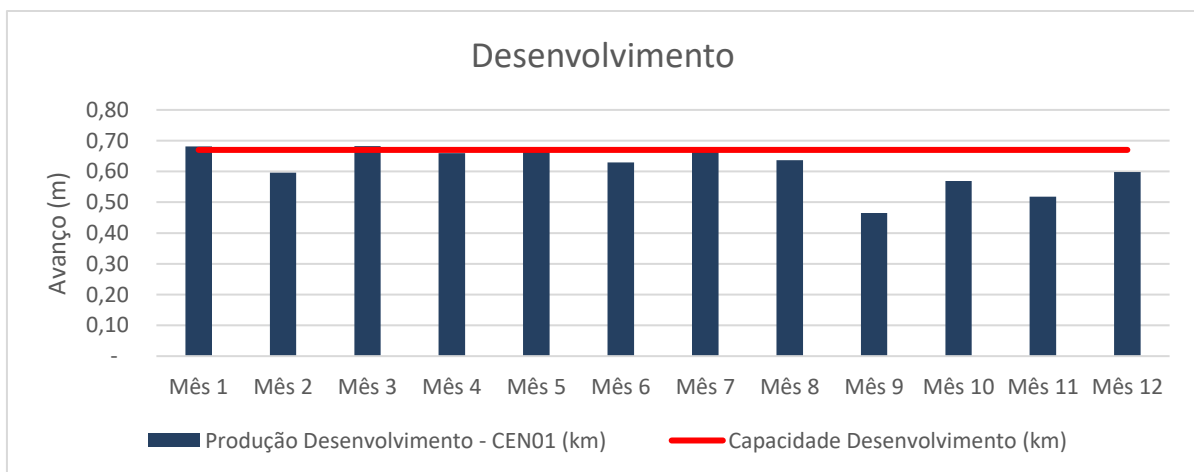


Figura 29: Capacidade e Produção do desenvolvimento – Cenário 01 (Elaboração Própria).

Item	Unit	Total	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Produção</b>														
Ouro	Oz ('000)	53.2	5.7	5.4	2.4	7.2	3.3	4.3	5.6	2.9	2.8	4.2	5.1	4.4
Receita Bruta	USD M	93.1	10.0	9.5	4.2	12.5	5.7	7.6	9.7	5.2	4.9	7.4	8.8	7.6
Royalties	USD M	1.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Custos Operacionais</b>														
Custo de Mina	USD M	32.1	3.1	2.9	2.6	2.8	2.6	2.6	2.8	2.5	2.4	2.5	2.7	2.6
Custo de Processo	USD M	15.4	1.4	1.4	1.1	1.5	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
Geral e Administrativo	USD M	4.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Custos Operacionais Totais</b>	<b>USD M</b>	<b>51.5</b>	<b>4.8</b>	<b>4.6</b>	<b>4.1</b>	<b>4.6</b>	<b>4.2</b>	<b>4.2</b>	<b>4.5</b>	<b>4.0</b>	<b>3.9</b>	<b>4.1</b>	<b>4.4</b>	<b>4.2</b>
Custos de Capital	USD M	12.7	1.0	1.1	1.1	1.2	0.8	1.1	1.3	0.9	0.7	1.2	1.2	1.1
<b>Métricas e Fluxo de Caixa</b>														
Total AISC	USD M	64.2	5.8	5.7	5.1	5.8	4.9	5.3	5.8	5.0	4.6	5.3	5.6	5.4
Total AISC	USD/oz <sup>1</sup>	1,205.8	1,022	1,046	2,116	808	1,514	1,216	1,047	1,694	1,632	1,253	1,102	1,226
Custos de Fechamento de Mina	USD M	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
<b>Fluxo de Caixa Pré-Taxado</b>	<b>USD M</b>	<b>26.8</b>	<b>3.9</b>	<b>3.6</b>	<b>-1.0</b>	<b>6.5</b>	<b>0.6</b>	<b>2.1</b>	<b>3.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>1.9</b>	<b>3.1</b>	<b>2.1</b>
Taxa	USD M	9.4	1.3	1.2	0.0	2.2	0.2	0.7	1.3	0.0	0.1	0.7	1.0	0.7
<b>Fluxo de Caixa Pós-Taxado</b>	<b>USD M</b>	<b>17.3</b>	<b>2.6</b>	<b>2.4</b>	<b>-1.0</b>	<b>4.3</b>	<b>0.4</b>	<b>1.4</b>	<b>2.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>1.3</b>	<b>2.0</b>	<b>1.4</b>

<sup>1</sup> Ounces of Gold

Chaves Métricas	
NPV10	USD M 16.6

Tabela XI: Fluxo de Caixa – Cenário 01 - Base (Elaboração Própria).

Contudo, tem-se um plano de produção base, para os corpos de Carvoaria e Laranjeiras, com receita de 93.1 MUS\$, AISC de 64.2 MUS\$, fluxo de caixa pré-taxado de 26.79 UMUS\$, fluxo de caixa pós taxado de 17.34 MUS\$ (Taxa de 34% mensal), e Valor presente líquido de 16.6 MUS\$ (10% a.a).

#### 4.4 RESULTADO COMPARATIVO ENTRE OS CENÁRIOS 01 A 05 - SEM INCREMENTO DE DESENVOLVIMENTO

Considerando que o cenário base, conforme observado, apresenta ociosidade de ativo, tem-se um contexto adequado para análise de aproveitamento dos minérios marginais.

A tabela XII, apresenta um resumo comparativo de produção e financeiro entre o cenário base e os cenários complementares, que não possuem incremento de desenvolvimento.

	CEN 01	CEN 02	CEN 03	CEN 04	CEN 05
Desenvolvimento (km)	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Lavra (kt)	248.8	248.8	276.4	308.4	315.8
Rom (kt)	451.0	517.5	545.1	577.1	584.5
Au ROM (koz)	58.7	60.8	63.3	65.4	65.6
Alimentação Planta (kt)	451.0	517.5	545.1	577.1	584.5
Au Produzido (koz)	53.2	55.2	57.4	59.3	59.5
Preço Au (US\$/oz)	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
Câmbio (R\$/US\$)	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27
Receita (MUS\$)	93.1	96.5	100.4	103.7	104.1
Custo Total (MUS\$)	64.2	65.6	66.9	68.4	68.7
Custo Total (US\$/oz)	1,206	1,190	1,167	1,154	1,154
Fluxo de Caixa pré taxado (MUS\$)	26.8	28.7	31.2	33.0	33.1
Fluxo de Caixa pós taxado (MUS\$)	17.3	18.4	20.0	21.1	21.2
Valor Presente: 10%a.a (MUS\$)	<b>16.6</b>	<b>17.6</b>	<b>19.1</b>	<b>20.1</b>	<b>20.2</b>
Diferença - Valor Presente (UMS\$)	-	<b>1.0</b>	<b>2.4</b>	<b>3.5</b>	<b>3.6</b>
Margem (%)	45%	47%	50%	52%	52%

Tabela XII: Comparativo de Produção e Financeiro entre os cenários 01 a 05 (Elaboração Própria).

Dentre os cenários que não incluem desenvolvimento adicional, o cenário 05, que considera a inclusão dos minérios marginais do desenvolvimento (Teor de corte de 0.64 g/t) e da lavra (Teor de corte de 1.4 g/t), apresenta o melhor resultado, com redução de 4.3% no AISC (De 1,206 US\$/oz para 1,154 US\$/oz), incremento de 11.0 MUS\$ na receita (+11.8%) e 3.6 MUS\$ de lucro, assim como, 6.3 koz produzidas.

O cenário com incremento de desenvolvimento é analisado em seguida, tendo em vista a observância de, ainda pouca, mas importante, ociosidade dos recursos.

As figuras 30, 31 e 32 demonstram um comparativo de produção entre os cenários 01 e 05, onde é possível perceber um melhor aproveitamento dos recursos alocados, evitando elevada ociosidade.



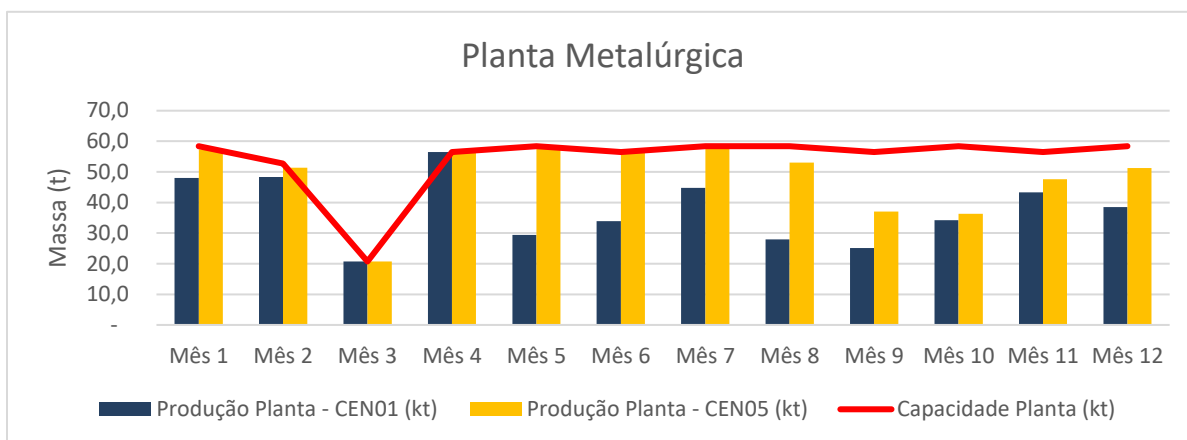


Figura 30: Capacidade e Produção da planta metalúrgica – Cenário 01 e 05 (Elaboração Própria).

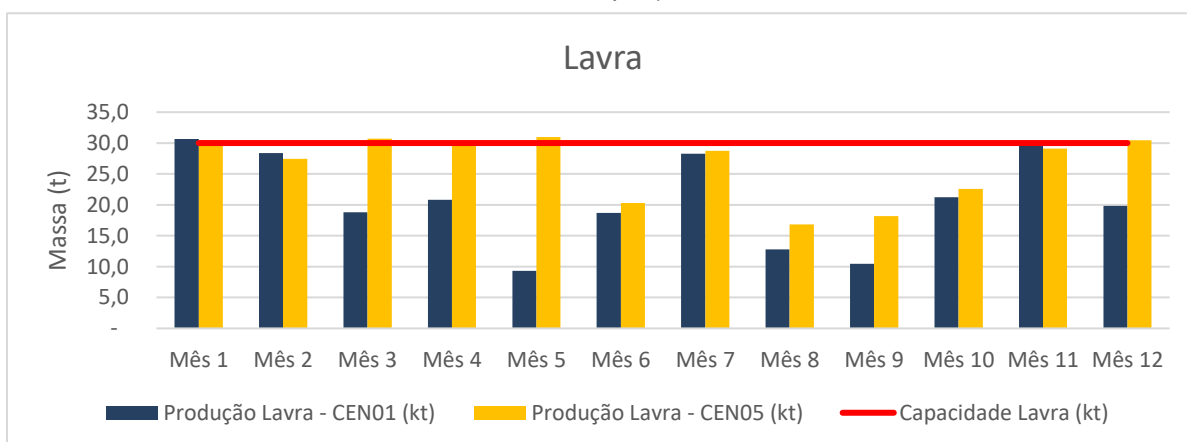


Figura 31: Capacidade e Produção da lavra – Cenário 01 e 05 (Elaboração Própria).

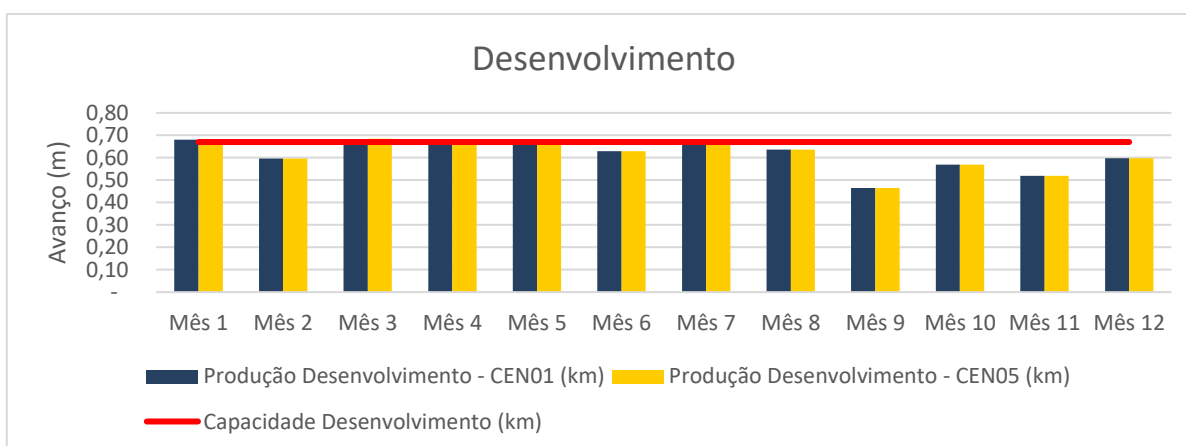


Figura 32: Capacidade e Produção do desenvolvimento – Cenário 01 e 05 (Elaboração Própria).

Nas figuras 33 e 34, são exibidas as imagens dos planos de produção para doze meses, nos cenários 01 e 05, detalhando o teor dos realces e seus posicionamentos.

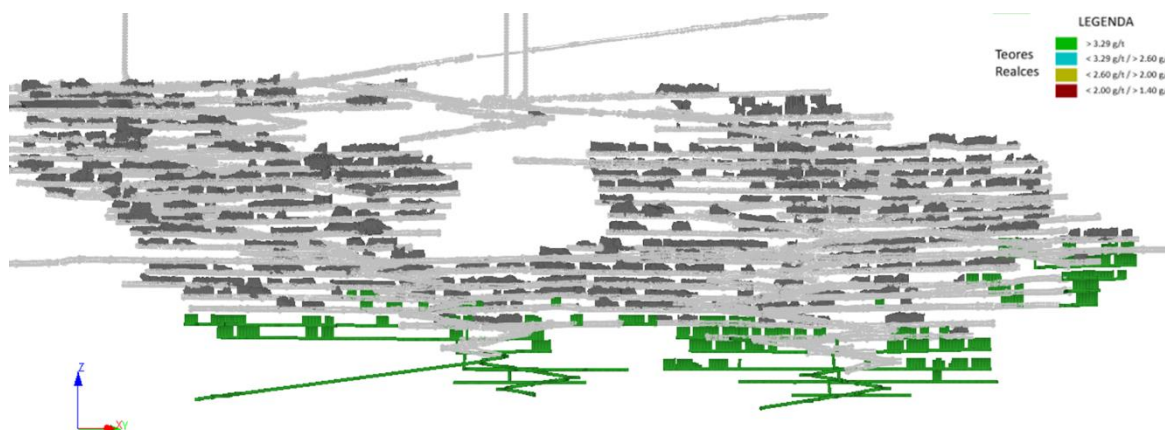


Figura 33: Plano de produção 12 meses – Cenário 1 (Elaboração Própria).

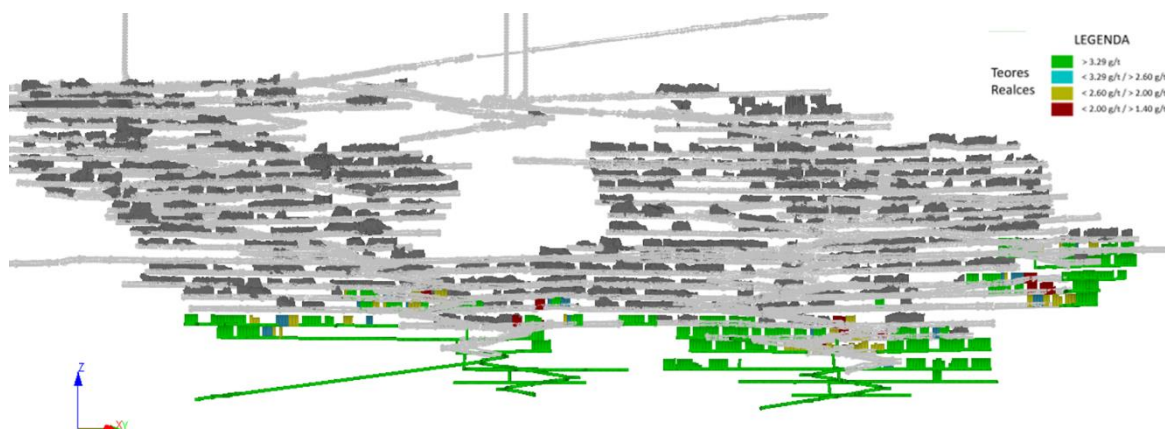


Figura 34: Plano de produção 12 meses – Cenário 5 (Elaboração Própria).

#### 4.5 RESULTADO COMPARATIVO FINAL

Para o cenário 06, que considera um incremento de desenvolvimento no plano de produção, é utilizado como base o melhor dos anteriores (cenário 05), que ainda apresenta ociosidade de recurso. São priorizadas regiões com demanda curta de metragem, fluxo de caixa negativo com menor impacto (análise a preço de 1,200 US\$/oz e câmbio de 5.15 R\$/US\$), e que pouco, ou não, influenciam o

sequenciamento das demais áreas produtivas, para que possa ser percebido ganho financeiro dentro da escala de tempo analisada, doze meses.

Abaixo, tabela XIII, com as áreas opcionais analisadas, e, figura 35, com a imagem do plano de produção do cenário 06, detalhando o posicionamento das frentes incluídas.

FRENTES MARGINAIS "INDEPENDENTES"								
FRENTE	MARGEM	LUCRO (US\$)	RECEITA (US\$)	MASSA (t)	TEOR (g/t)	AU (oz)	DESENV. (m)	INCLUÍDO?*
cv453 f	-69%	(90,644)	132,140	1,818	2.10	123	28	SIM
cv395f	-8%	(72,822)	917,042	9,835	2.70	855	45	SIM
cv395h	-39%	(189,050)	483,674	7,337	1.91	451	58	SIM
cv415	-16%	(167,318)	1,074,582	13,131	2.37	1,002	87	SIM
cv453 h	-23%	(162,131)	715,603	7,785	2.66	667	116	SIM
LJ 465	-53%	(582,362)	1,095,569	13,117	2.42	1,022	220	NÃO
LJ323	-32%	(1,229,662)	3,860,649	42,993	2.61	3,601	438	NÃO
LJ 345	-40%	(1,151,371)	2,878,599	32,595	2.56	2,685	447	NÃO
LJ 487	-75%	(1,578,667)	2,093,188	25,851	2.35	1,952	540	NÃO

Tabela XIII: Frentes independentes opcionais que operam em margem negativa (Elaboração Própria).

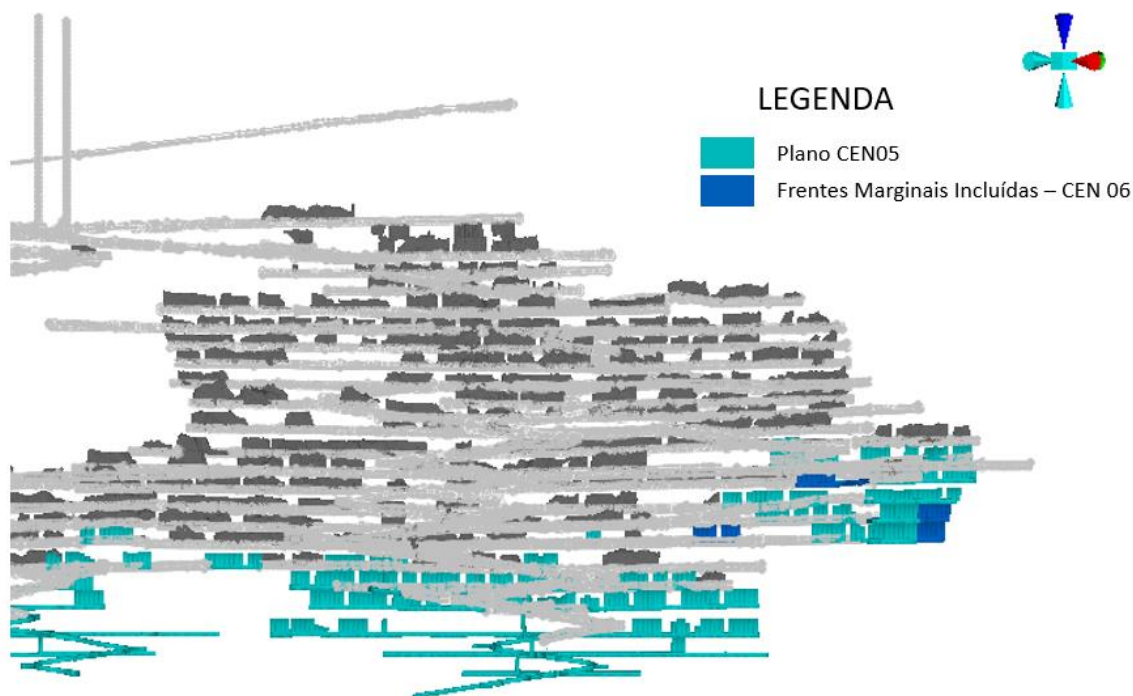


Figura 35: Detalhe das frentes marginais incluídas no CEN 06 (Elaboração Própria).

Mesmo tendo margem menor que algumas frentes que não entram no plano de produção, a frente cv453f é incluída, devido a pouca metragem demandada que possibilita a lavra ainda dentro do período avaliado. As frentes cv395f e cv415 acabam não entrando de forma completa (incluindo 78% das onças nestas frentes) no plano de produção, dentro dos doze meses, devido restrição de capacidade de lavra nos meses 11 e 12.

No cenário 07, todo o trabalho de aproveitamento dos minérios marginais é realizado desconsiderando a metodologia proposta nos cenários anteriores, ou seja, avaliando todo o empreendimento sem os custos fixos e sem as referências do cenário base.

A tabelas XIV, apresenta um resumo comparativo de produção e financeiro entre todos os cenários analisados.

	CEN 01	CEN 02	CEN 03	CEN 04	CEN 05	CEN 06	CEN 07
Desenvolvimento (km)	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.7	7.9
Lavra (kt)	248.8	248.8	276.4	308.4	315.8	335.0	250.9
Rom (kt)	451.0	517.5	545.1	577.1	584.5	621.1	535.6
Au ROM (koz)	58.7	60.8	63.3	65.4	65.6	68.3	53.0
Alimentação Planta (kt)	451.0	517.5	545.1	577.1	584.5	621.1	535.6
Au Produzido (koz)	53.2	55.2	57.4	59.3	59.5	61.9	48.1
Preço Au (US\$/oz)	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
Câmbio (R\$/US\$)	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27
Receita (MUS\$)	93.1	96.5	100.4	103.7	104.1	108.4	84.1
Custo Total (MUS\$)	64.2	65.6	66.9	68.4	68.7	70.5	66.7
Custo Total (US\$/oz)	1,206	1,190	1,167	1,154	1,154	1,139	1,389
Fluxo de Caixa pré taxado (MUS\$)	26.8	28.7	31.2	33.0	33.1	35.4	15.3
Fluxo de Caixa pós taxado (MUS\$)	17.3	18.4	20.0	21.1	21.2	22.7	9.1
Valor Presente: 10%a.a (MUS\$)	16.6	17.6	19.1	20.1	20.2	21.6	8.8
Diferença - Valor Presente (UMS\$)	-	1.0	2.4	3.5	3.6	5.0	7.9
Margem (%)	45%	47%	50%	52%	52%	54%	26%

Tabela XIV: Comparativo de Produção e Financeiro entre os cenários 01 a 07 (Elaboração Própria).

Nas figuras 36, 37 e 38, temos um comparativo de produção entre os cenários 01, 05, 06 e 07.

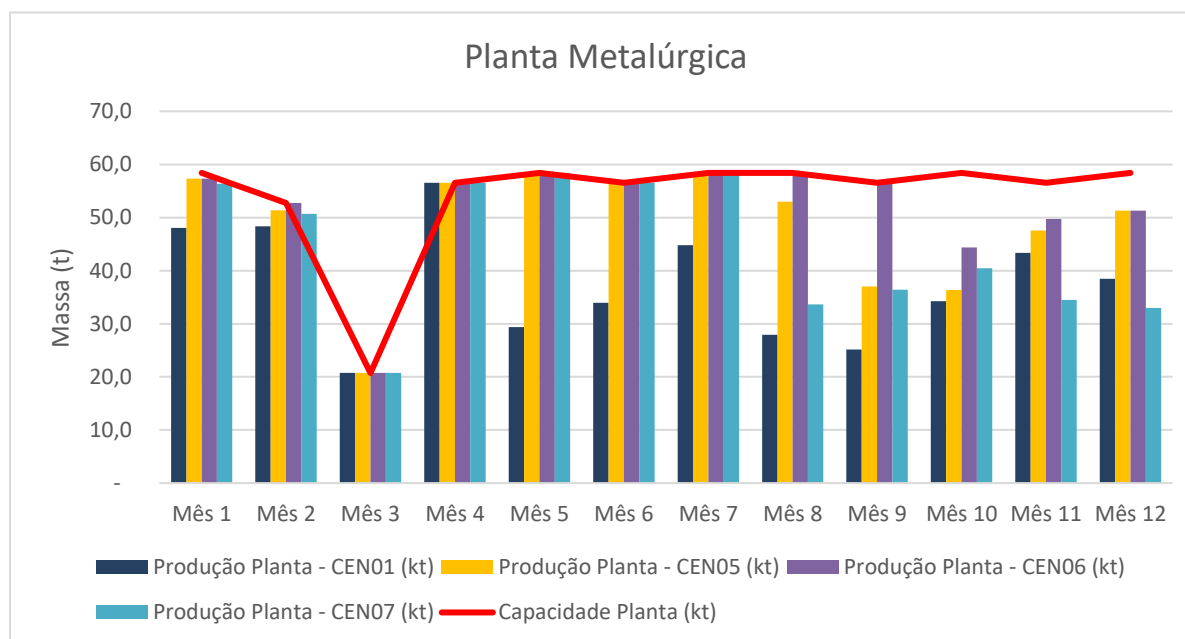


Figura 36: Capacidade e Produção da planta metalúrgica – Cenários 01, 05, 06 e 07 (Elaboração Própria).

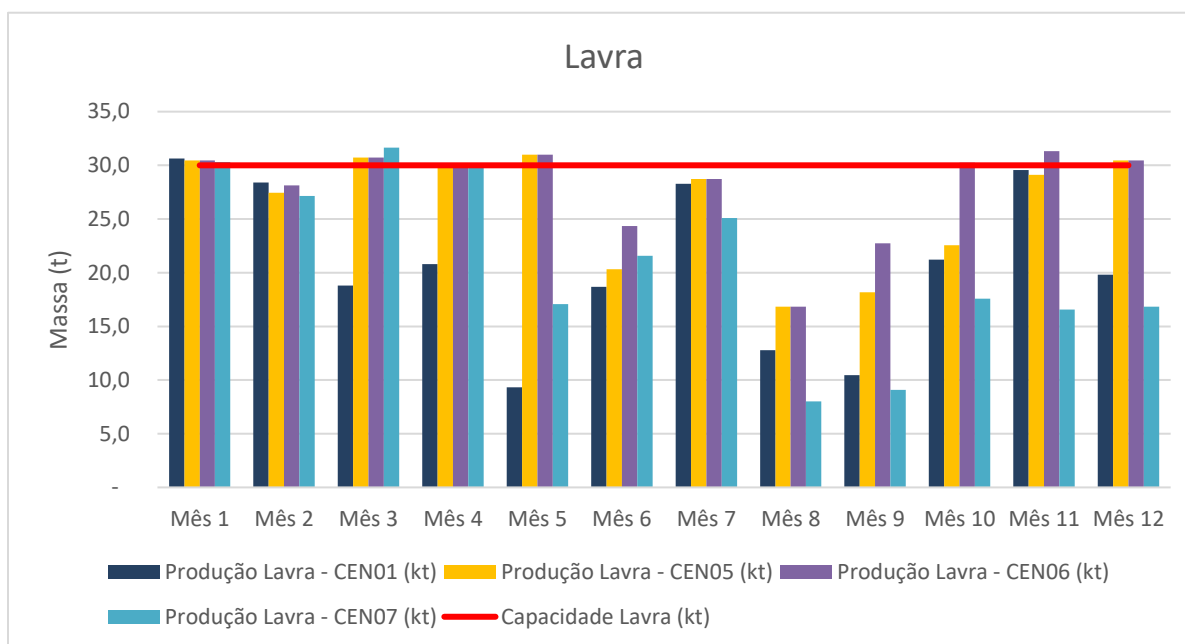


Figura 37: Capacidade e Produção da lavra – Cenários 01, 05, 06 e 07 (Elaboração Própria).

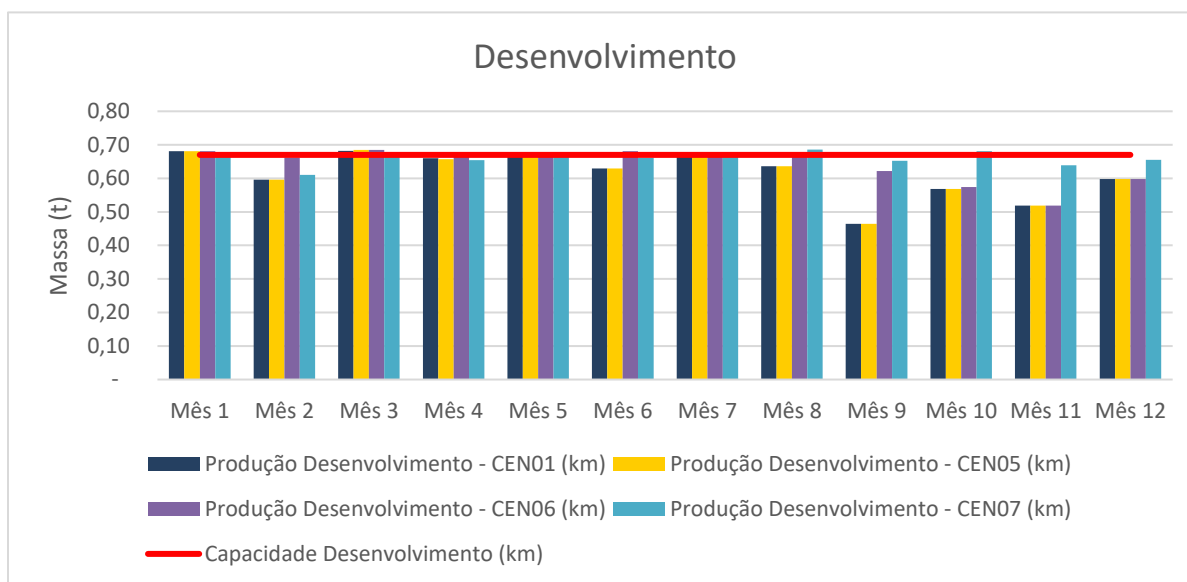


Figura 38: Capacidade e Produção do desenvolvimento – Cenários 01, 05, 06 e 07 (Elaboração Própria).

Nota-se que o cenário 06, suporta em melhor proporção os recursos instalados na usina e na lavra. Mesmo ainda não ocupando todo o recurso do desenvolvimento, o que acontece no cenário 07, o cenário 06 mantém-se como melhor opção financeira

para o empreendimento, observando o período de doze meses de produção. Mesmo não sendo foco do presente estudo, espera-se pouca alteração nos meses posteriores ao observado, devido a natureza “independente” das frentes incluídas.

Nas tabelas XV e XVI, temos o plano de produção e o fluxo de caixa do cenário 06, apresentando o melhor resultado.

Dentre todas as opções analisadas, o cenário 06, que considera o uso racional dos recursos e minérios, partindo de uma análise padrão (Cenário base), e que inclui os minérios marginais do desenvolvimento (Teor de corte de 0.64 g/t) e da lavra (Teor de corte de 1.4 g/t), além de incluir desenvolvimento adicional em frentes específicas de fluxo de caixa marginais, apresenta o melhor resultado, com redução de 5.5% no AISC (De 1,206 US\$/oz para 1,139 US\$/oz), incremento de 15.2 MUS\$ na receita (+16.3%), 5.0 MUS\$ de lucro e 8.7 koz produzidas, frente o cenário base.

O cenário 07, que desconsidera a metodologia de aproveitamento dos minérios marginais proposta, através do uso irracional dos recursos no plano de produção, apesar de ocupar todo o recurso de desenvolvimento disponível, apresenta aumento de 15.2% no AISC (De 1,206 US\$/oz para 1,389 US\$/oz) e queda de 9.06 MUS\$ na receita (-9.7%), 7.9 MUS\$ no lucro e 5.2 koz produzidas, frente o cenário base.

		Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22	2022
MINA	Desenvolvimento Total (m)	681	662	685	678	671	681	676	673	622	574	518	598	7.718
	Desenvolvimento Primário (m)	138	197	336	214	182	278	310	264	164	323	262	283	2.952
	Desenvolvimento Secundário (m)	543	464	349	464	488	402	366	409	458	251	256	316	4.766
	Massa de Estéril (t)	21,254	18,847	27,915	16,481	19,254	29,722	25,747	25,934	16,017	28,231	19,571	22,857	271,829
	ROM Desenvolvimento													
	Massa (t)	26,910	28,516	22,208	32,145	28,581	19,632	23,570	22,753	28,296	14,148	18,453	20,849	286,061
	Teor (g/t)	2,11	2,45	1,99	2,71	1,77	2,19	2,03	2,19	2,10	2,76	2,70	3,10	2,31
	Au (Oz)	1,823	2,246	1,421	2,806	1,623	1,382	1,538	1,604	1,909	1,256	1,599	2,078	21,285
	ROM Lavra													
	Massa (t)	30,446	28,139	30,723	30,043	30,987	24,358	28,727	16,820	22,742	30,238	31,310	30,463	334,996
	Teor (g/t)	4,35	4,05	4,31	4,54	5,00	5,12	5,25	4,22	3,69	4,23	3,86	3,69	4,36
	Au (Oz)	4,257	3,661	4,256	4,381	4,977	4,006	4,845	2,284	2,699	4,115	3,889	3,618	46,987
	ROM Total													
	Massa (t)	57,356	56,655	52,931	62,188	59,568	43,990	52,297	39,573	51,038	44,386	49,763	51,312	621,057
	Teor (g/t)	3,30	3,24	3,34	3,59	3,45	3,81	3,80	3,06	2,81	3,76	3,43	3,45	3,42
	Au (Oz)	6,080	5,907	5,677	7,186	6,600	5,388	6,383	3,888	4,607	5,371	5,488	5,696	68,272
PLANTA	Massa (t)	57,356	52,754	20,725	56,522	58,406	56,522	58,406	58,406	56,500	44,386	49,763	51,312	621,057
	Teor (g/t)	3,30	3,24	3,34	3,59	3,45	3,71	3,75	3,16	2,86	3,76	3,43	3,45	3,42
	Au Feed (oz)	6,080	5,500	2,223	6,532	6,471	6,744	7,044	5,926	5,198	5,371	5,488	5,696	68,272
	Rec (%)	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	Au Produzido (oz)	5,514	4,989	2,016	5,924	5,869	6,117	6,389	5,375	4,715	4,872	4,978	5,166	61,923

Tabela XV: Plano de Produção Mensal – Cenário 06 – Mais atrativo (Elaboração Própria).



Item	Unit	Total	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
<b>Produção</b>														
Ouro	Oz ('000)	61.9	5.5	5.0	2.0	5.9	5.9	6.1	6.4	5.4	4.7	4.9	5.0	5.2
Receita Bruta	USD M	108.4	9.7	8.7	3.5	10.4	10.3	10.7	11.2	9.4	8.3	8.5	8.7	9.0
Royalties	USD M	1.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Custos Operacionais</b>														
Custo de Mina	USD M	34.2	3.1	2.9	2.8	3.0	3.0	2.8	2.8	2.7	2.8	2.7	2.7	2.8
Custo de Processo	USD M	17.2	1.5	1.4	1.1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
Geral e Administrativo	USD M	4.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Custos Operacionais Totais</b>	<b>USD M</b>	<b>55.5</b>	<b>4.9</b>	<b>4.7</b>	<b>4.3</b>	<b>4.8</b>	<b>4.9</b>	<b>4.6</b>	<b>4.7</b>	<b>4.5</b>	<b>4.7</b>	<b>4.4</b>	<b>4.5</b>	<b>4.6</b>
Custos de Capital	USD M	15.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.4	1.5	1.3	1.1	1.4	1.3	1.3
<b>Métricas e Fluxo de Caixa</b>														
Total AISC	USD M	70.5	6.0	5.9	5.4	6.0	6.1	6.0	6.1	5.8	5.8	5.7	5.8	5.9
Total AISC	USD/oz <sup>1</sup>	1,139.1	1,090	1,178	2,688	1,020	1,040	976	959	1,081	1,225	1,180	1,156	1,143
Custos de Fechamento de Mina	USD M	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
<b>Fluxo de Caixa Pré-Taxado</b>	<b>USD M</b>	<b>35.4</b>	<b>3.4</b>	<b>2.6</b>	<b>-2.0</b>	<b>4.1</b>	<b>4.0</b>	<b>4.5</b>	<b>4.8</b>	<b>3.4</b>	<b>2.3</b>	<b>2.6</b>	<b>2.7</b>	<b>2.9</b>
Taxa	USD M	12.7	1.2	0.9	0.0	1.4	1.3	1.5	1.6	1.2	0.8	0.9	0.9	1.0
<b>Fluxo de Caixa Pós-Taxado</b>	<b>USD M</b>	<b>22.7</b>	<b>2.3</b>	<b>1.7</b>	<b>-2.0</b>	<b>2.7</b>	<b>2.6</b>	<b>3.0</b>	<b>3.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>	<b>1.9</b>

<sup>1</sup> Ounces of Gold

Key metrics		
NPV10	USD M	21.6

Tabela XVI: Fluxo de Caixa – Cenário 06 – Mais atrativo (Elaboração Própria).

### 3 - CONCLUSÕES

A utilização racional e metodológica dos minérios marginais apresenta incremento financeiro ao empreendimento, enquanto o uso irracional destes, impacta negativamente os resultados.

O ganho financeiro esperado da metodologia proposta, frente ao método padrão, é de 5.0 MUS\$ (cenário 06), devido ao aumento da produção de ouro em 16.3%, vinculado a uma redução de 5.5% do *All in Sustaining Cost* (AISC).

A utilização irrestrita, ou irracional, dos minérios marginais (cenário 07) gera prejuízo de 7.9 MUS\$, devido à queda de 9.7% na produção de ouro, relacionado ao aumento de 15.2% do AISC, não sendo este método recomendado como boa prática de avaliação econômica.

O método de lavra subterrânea por subníveis em veios estreitos, apresenta gargalos e desafios técnicos/operacionais importantes, gerando costumeira ociosidade e baixa flexibilidade nos recursos disponíveis.

O contexto de escalada de produção e baixa reserva acessada e desenvolvida, torna o ambiente propício a um olhar atento para o aproveitamento dos minérios marginais.

O conhecimento das classificações dos custos, contribui significativamente para o aproveitamento racional dos minérios marginais.

Um fluxo de trabalho claro, organizado e estruturado, assim como um conhecimento de engenharia detalhada dos fatores modificadores, trazem robustez a estimativa da reserva mineral, atendendo aos requisitos de transparência, materialidade e competência.

A presente pesquisa contribui para a fundamentação teórica e prática no ambiente mineiro, em especial, nas operações subterrâneas.

Recomenda-se a construção de um fluxo de processo para aplicação contínua do método proposto e o aprofundamento nos estudos de redução do custo unitário nas operações em Córrego do Sítio.

Devido a relevante representatividade dos custos fixos no ativo, um trabalho de engenharia técnica/financeira detalhada é recomendado e encontra-se em andamento, sendo esperado melhoria significativa e sustentável no ativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGLO GOLD ASHANTI. **Guideline for the calculation of cut-off grades.** Johannesburg: Anglo Gold Ashanti, 2014.

ANGLO GOLD ASHANTI. **Guideline for the reporting of exploration results, mineral resource and ore reserve.** Johannesburg: Anglo Gold Ashanti, 2020.

ANGLO GOLD ASHANTI. **Recommendation for 2021 Mineral Resource and Ore Reserve Economic assumptions.** Johannesburg: Anglo Gold Ashanti, 2021.

ASSIS, Alexandre Henrique. **Teores de corte: Uma análise da influência do resultado econômico de um empreendimento mineiro.** Ouro Preto, 2016. Dissertação (Mestrado em Lavra de Minas) - Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

ATLAS COPCO; **UNDERGROUND MINING: A global review of methods and practices.** Nacka, 2014.

BRAUNSTEINER, Dean. **Construindo competitividade a longo prazo no setor de mineração de ouro hoje, amanhã e sempre.** IN: EY.com. Canada. 28 de setembro de 2021. Disponível em: [https://www.ey.com/pt\\_br/cem/construindo-competitividade-a-longo-prazo-no-setor-de-mineracao](https://www.ey.com/pt_br/cem/construindo-competitividade-a-longo-prazo-no-setor-de-mineracao)- Acesso em: 28 de julho de 2022.

CARNEIRO, Aida *et al.* **Realização de projeto de lavra de mina subterrânea com utilização de aplicativos específicos.** IN: Revista Escola de Minas. Ouro Preto. vol 64. n.4, p.519-524, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/Z9zwb6RGHCZtTJytJkMgYGj/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 09 de Agosto de 2021.

CBRR. **Guia CBRR para declaração de resultados de exploração, recursos e reservas minerais.** Brasília: Comissão Brasileira de Recursos e Reservas, 2016

CHANGANANE, Arsênio Paulo. **Estudo dos parâmetros envolvidos na determinação da função benefício na mineração.** Ouro Preto, 2017. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mineral) - Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

CURI, Adilson. **Minas a Céu Aberto: Planejamento de Lavra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CURI, Adilson. **Lavra de Minas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

EXAME. **Melhores e maiores 2020**. São Paulo. 2020. Disponível em: <https://mm.exame.com/anglo-gold-ashanti/> Acesso em: 23 de Agosto de 2021.

GONZALEZ, Marco. **A mineração e a Segunda Revolução Industrial (parte III)**. Porto Alegre. 2018. Disponível em: [https://www.notasgeo.com.br/2018/01/a-mineracao-e-segunda-revolucao\\_43.html](https://www.notasgeo.com.br/2018/01/a-mineracao-e-segunda-revolucao_43.html) Acesso em: 23 de Agosto de 2021.

HARTMAN, H. L. *Introductory Mining Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1987.

JORC. **The JORC Code**. Carlton South. 2012. JORC. Disponível em: <http://www.jorc.org/index.asp> Acesso em: 25 de Agosto de 2021.

KENNEDY, B. A. **Surface Mining**. Indonesia. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1990.

MENDES, HUGO. **Tomada de Decisão Financeira: Comparação da AIRR com os Métodos Tradicionais**. Brasília, 2015. Monografia (Bacharel) – Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília.

MIRANDA JÚNIOR, Ivan. **Diretrizes fundamentais para um estudo de avaliação econômica de empreendimentos de mineração: Um estudo bibliográfico**. Ouro Preto, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

MORIN, Mario Adallard. **Underground Hardrock Mine Design and Planning - A System's Perspective**. Kingston, 2001. Dissertação (Doutorado) Department of Mining Engineering, Queen's University.

OLIVEIRA, Michel. **Dimensionamento Empírico de Realces em Sublevel Stopping**. Belo Horizonte, 2011. Proposta de Pesquisa (Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais.

PEREIRA, Mario Sebastião de Azevedo. **Gestão de Custos**. São Paulo: SAGE, 2014.

SOUZA, Petain. **Avaliação Econômica de Projetos de Mineração**. Belo Horizonte: IETEC, 2009.

TAYLOR, H. K. Cut-off grades – some further reflections. Institution of Mining and Metallurgy Transactions. 1985.

VIANA, Tiago de Freitas. **Simulação em elementos finitos da escavação de realces na mineração utilizando modelos elastoplásticos**. Recife, 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral.

WHITTLE, David *et al.* **Strategic Mine Planing**. Vancouver: Gemcom Software International Inc, 2005.

WHITTLE, David *et al.* **Underground Mine Plan Optimisation**. Melbourne, 2019. Dissertação (Doutorado) School of Engineering, Department of Mechanical Engineering, The University of Melbourne.

## APÊNDICES

### APÊNDICE I – DESCRIÇÃO DOS ARQUIVOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Levantamento topográfico dos realces lavrados no corpo Carvoaria até o mês de julho de 2020: CV_072020_STO.pt.dm/CV_072020_STO.tr.dm.....	62
Levantamento topográfico dos realces lavrados no corpo Laranjeiras até o mês de julho de 2020: LJ_072020_STO.pt.dm/LJ_072020_STO.tr.dm.....	62
Levantamento topográfico dos realces lavrados da Mina1 de agosto de 2020 até julho de 2021: MINAI2021_AGO20_A_JUL21_STO.pt.dm/MINAI2021_AGO20_A_JUL21_STO.tr.....	62
Levantamento topográfico dos realces lavrados da Mina1 de agosto de 2021 até março de 2022: MINAI2021_AGO21_A_MAR22_STO.pt.dm/MINAI2021_AGO21_A_MAR22_STO.tr.dm.....	62
Levantamento topográfico das rampas e drive desenvolvidos da Mina1 até o mês de julho de 2021: MINA1_RAMPA_DRIVE_072021.pt.dm/MINA1_RAMPA_DRIVE_072021.tr.dm	62
Levantamento topográfico das galerias desenvolvidas no corpo Carvoaria até o mês de julho de 2021: CV_072021_GAL.pt.dm/CV_072021_GAL.tr.dm.....	62
Levantamento topográfico das galerias desenvolvidas no corpo Laranjeiras até o mês de julho de 2021: LJ_072021_GAL.pt.dm/LJ_072021_GAL.tr.dm.....	62
Levantamento topográfico das galerias desenvolvidas na Mina1 de agosto de 2021 até março de 2022: MINAI2021_AGO21_A_MAR22_GAL.pt.dm/MINAI2021_AGO21_A_MAR22_GAL.tr.dm.....	62
Levantamento topográfico das galerias desenvolvidas na Mina1 até março de 2022 em linhas: survey_development_mine1_032022.dm.....	62
Levantamento topográfico de superfície: topo_cds1pt.dm/topo_cds1tr.dm.....	62
Modelo de Blocos: mk_crvarlwsthg_q12022.dm.....	63
Wireframe geológica: crvarlhg20220122pt.dm/crvarlhg20220122tr.dm.....	63

Guideline AGA – Recursos e Reservas 2021: Mineral Resource and Ore Reserve Guidelines 2021 Final_v2a.pdf.....	64
Outlook 5+7 (2021), para avaliação dos custos operacionais: 5+7_LOM.xlsx.....	65
Para avaliação dos custos de investimento: SO22_CAPEX_Cenários - REV08 (20210517) - COG.xlsx.....	65
Crown pillar com interferência nos corpos de Carvoaria e Laranjeiras: BaseCrown-CDS1-202110pt.dm/BaseCrown-CDS1-202110tr.dm.....	65
Planilha com detalhamento dos pilares necessários ao desenho de mina, como sill pillars (pilar horizontal), rib pillars (pilar vertical), pilar rampa/realce, estratificados por mina e cota de elevação: Parâmetros de Lavra CdS_Rev_2020.xlsx.....	65
Histórico do MCF realizado no circuito sulfetado, que suportou a publicação de reserva em 2021: MCF_DATABASE.xlsx.....	66
Histórico da diluição operacional e recuperação dos realces, realizado no circuito sulfetado, que suportou a publicação de reserva em 2021: UNDER_OVER_DATABASE.xlsx.....	66
Equação para estimativa da diluição operacional dos realces planejados: Equacao_diluicao_SO2022.xlsx.....	67
Padrão para desenho da infraestrutura: Padrão de Infra Projetos_2021.xls.....	67



## APÊNDICE II - GLOSSÁRIO

<i>AISC - All in sustaining Cost</i> : Custo total de sustentabilidade do negócio.....	43
<i>Blast Hole Method</i> : Perfuração Radial: Perfurações feitas de forma radial e por fatias, localizadas em cada subnível.....	36
<i>Competent Person</i> : Pessoa Competente: Responsável por suportar os relatórios públicos de Recursos e Reservas.....	39
<i>Cross-cut</i> : Travessa - Galeria horizontal que conecta o poço ou rampa de acesso ao corpo de minério.....	27
<i>Crown Pillar</i> : Pilar de teto.....	34
<i>Cut-off-grade</i> : Teor de Corte.....	52
<i>Declines</i> : Rampas ou galerias de forte inclinação.....	27
<i>Dilution</i> : Diluição - $T(W)/T(M)$ , onde $T(W)$ e $T(M)$ são as massas de resíduo/estéril e rochas minerada, respectivamente.....	28
<i>Drift</i> : Galeria ou abertura horizontal, próxima ao corpo mineral e geralmente paralela ao <i>strike</i> (ataque).....	28
<i>Grade</i> : Quantidade relativa de um elemento na rocha, representada por uma proporção, como gramas por tonelada no caso do ouro.....	28
<i>Guideline</i> : Manual.....	64
<i>Handovers</i> : Apresentações.....	63
<i>Level</i> : Rede de galerias horizontais, ou quase horizontais, que conectam os <i>shafts</i> e <i>declines</i> .....	28
<i>Location</i> : Localização dos custos (Tipo).....	49

<i>MCF - Mining Call Factor</i> : Fator de mineração.....	40, 66
<i>Metal Statistics</i> : Livro ou fonte muito utilizada no ambiente mineiro para consulta das estimativas futuras dos preços, baseadas em estudos estatísticos.....	42
<i>Open-Ending Method</i> : Perfuração de Furos Longos: Perfurações longas e verticais por fatias.....	36
<i>Ore pass</i> : Poço semi-vertical utilizado para transporte de minério, por meio de gravidade.....	28
<i>Outliers</i> : Pontos fora da curva de tendência.....	66
<i>Output</i> : Apresentação de resultado ou arquivo de saída do fluxo de caixa.....	58
<i>Pillar</i> : Coluna ou seção de rocha que fornece integridade estrutural as áreas mineradas, acessos e infraestrutura.....	28
Planta HL – Heap Leach: Planta Metalúrgica com lixiviação em pilha.....	72
Planta Mill: Planta Metalúrgica com circuito de moagem.....	72
<i>Pump Station</i> : Estação de bombeamento, responsável pelo rebaixamento e bombeamento de água das frentes de trabalho.....	29
<i>Ramp-up</i> : Operação em ritmo de retomada.....	61
<i>Rib Pillar</i> : Pilares laterais.....	34
<i>Shafts</i> : Poços verticais com auxílio de guinchos.....	27
<i>Sill Pillar</i> : Pilar de base.....	34
<i>Start-up</i> : Desenvolvimento do projeto .....	48
<i>Stope</i> : Formas tridimensionais ou unidades de escavação do minério, realces.....	28, 71

<i>Strike</i> : Direção principal do depósito mineral.....	28, 70, 74
<i>Sublevel</i> : Galerias subterrâneas entre níveis utilizada para produção de minério ou acesso aos stopes.....	28
<i>Sublevel Stoping</i> : Método de lavra subterrânea por subníveis.....	34, 61
<i>Top-down</i> : Sequência de lavra de cima para baixo.....	61
<i>Ventilation shaft</i> : Poço de ventilação da mina, comumente utilizado como caminho de emergência.....	29
<i>Vertical Crater Retreat Method (VCR)</i> : Perfuração vertical desmontadas por fatias horizontais.....	36
<i>Wireframe</i> : Superfície.....	62 e 63
<i>World Bureau of Metal Statistics</i> : Órgão Inglês responsável pela elaboração do <i>Metal Statistics</i> .....	43