



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

**Planejamento de lavra preliminar para uma ocorrência de ouro
no estado de Nevada, EUA.**

CÁSSIO MURILO BORGES JUNIOR

**Araxá-MG
2017**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

**Planejamento de lavra preliminar para uma ocorrência de ouro
no estado de Nevada, EUA.**

CÁSSIO MURILO BORGES JUNIOR

ORIENTADOR

MARCÉLIO PRADO FONTES

**Araxá-MG
2017**

CÁSSIO MURILO BORGES JUNIOR

Planejamento de lavra preliminar para uma ocorrência de ouro no estado de Nevada, EUA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Data de aprovação: 13 / 06 / 17

Banca Examinadora:

Marcélio Prado Fontes

Prof. MSc. Marcélio Prado Fontes- CEFET/ARAXÁ
Presidente da Banca Examinadora - Orientador

Silvânia Alves Braga

Prof.MSc. Silvânia Alves Braga
Examinador – CEFET/ARAXÁ

Natal Junio Pires

Prof. Dr. Natal Junio Pires– CEFET/ARAXÁ
Examinador – CEFET/ARAXÁ

Para os meus pais que sempre me apoiaram na minha educação e formação profissional. Aos meus irmãos, pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato aos meu pais por possibilitarem a realização desta etapa da minha vida. Aos meus irmãos, que sempre me apoiaram e incentivaram para que eu buscasse uma formação de qualidade.

Ao meu orientador pelo apoio e disponibilidade para tirar todas as minhas dúvidas e a todos os professores do CEFET-MG Araxá, que foram essenciais para a minha formação.

A todos vocês, sou eternamente grato.

“Não perca de vista quais são as suas prioridades. O resto, por mais que pareça importante, será sempre o resto ” Flávio Augusto

RESUMO

O planejamento preliminar de lavra é uma etapa muito importante para a mineração já que esta demanda um alto investimento inicial. Este trabalho tem como objetivo determinar a viabilidade de se prosseguir nos estudos de abertura de um empreendimento mineiro. As análises foram feitas partindo-se de um levantamento de dados iniciais como histórico da mineração na região, geologia e topografia local. Em seguida, através dos dados de 21 furos de sondagem, foi possível estimar a quantidade de ouro presente no local e com isso chegar a um valor da reserva. Após a definição da cava ótima, rota de processamento e licenças necessárias, também foi possível estimar todos os custos envolvidos com o possível empreendimento. Com isso, verificou-se que é viável de se prosseguir para estudos mais detalhados e a provável abertura do empreendimento mineiro.

Palavras chave: planejamento preliminar; viabilidade; lavra; análise econômica.

ABSTRACT

The prefeasibility study is a very important step in mining, since it demands a high initial capital. This study aims to determine the viability of moving forward to a more in depth study about starting a mining operation. The analyzes started based on the property location and history, geology and local topography. Next, based on the data of 21 drill holes, it was possible to estimate the reserve and its value. Following, after the definition of the optimal pit, processing route and licenses required, it was possible to estimate the total cost associated with this project. At the end, the data indicated that further investigations are feasible.

Key words: prefeasibility, mine planning, economic analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de estimativa utilizando o método poligonal. Fonte: SME Handbook (2011).....	13
Figura 2: Exemplo de estimativa utilizando o método de vizinho mais próximo. Fonte: SME Handbook (2011).....	14
Figura 3: Modelo de blocos. Fonte: SME Handbook (2011).....	15
Figura 4: Fluxograma simplificado de um fluxograma de planejamento estratégico de mina. Fonte: Askari-Nasab (2010).....	17
Figura 5: Influência do teor médio no Valor Presente Líquido. Fonte: Peroni et. al. (2012).....	20
Figura 6: Análise de sensibilidade aos parâmetros econômicos. Fonte: Peroni et. al. (2012).....	20
Figura 7: Fluxo de caixa manual. Fonte: Whittle (2011).....	22
Figura 8: Fluxo de caixa normal moderno. Fonte: Whittle (2011).....	22
Figura 9: Fluxo de caixa totalmente otimizado. Fonte: Whittle (2011).....	23
Figura 10: Metodologia utilizada no trabalho.....	26
Figura 11: Localização da propriedade. Fonte: Google Maps.....	28
Figura 12: Mapa topográfico da região. Fonte: Topoquest.....	28
Figura 13: Produção de ouro em Nevada. Fonte: Nevada Bureau of Mines.....	29
Figura 14: Projetos de ouro na região. Fonte: Nevada Bureau of Mines.655/654/656 – Cimmaron Gold Resource #1, 2, 3. 679 – Midway Project. 187 – Three Hills. 167 – Hill of Gold. 163 – Divide (Gold Mountain). 166 – Hasbrouck.....	30
Figura 15: Geologia da região.....	31
Figura 16: Geologia de Tonopah.....	32
Figura 17: Geologia do depósito. Fonte: cortesia da Tonogold Resources.....	33
Figura 18: Depósito semelhante ao de Gabbs.....	34
Figura 19: Ilustração do corpo de minério.....	35
Figura 20: Bloco de minério inicial.....	36
Figura 21: Bloco superior e topografia local.....	37
Figura 22: Blocos superior e inferior.....	37
Figura 23: Modelo de blocos.....	37
Figura 24: Cavas analisadas.....	43
Figura 25: colunas utilizadas nos testes de processamento.....	47
Figura 26: Circuito de britagem típico de minas de ouro da região.....	48
Figura 27: Possível layout futuro para o projeto.....	49
Figura 28: possível layout para o empreendimento.....	50

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Revisão bibliográfica.....	11
2.1 Fases de uma mina	11
2.2 Avaliação do depósito	12
2.2.1 Levantamento e análise de dados geológicos.....	12
2.2.2 Estimação do recurso mineral	12
2.3 Etapas do planejamento	16
2.4 Blocos econômicos	17
2.5 Função benéfico	18
2.6 Limite da cava	18
2.7 Push Back Design.....	21
2.8 Operacionalização de cava	24
3. Premissas/suposições.....	25
4. Metodologia.....	26
5. Estudo de caso	27
5.1 Levantamento de dados.....	27
5.1.1 Localização e acessibilidade	27
5.1.2 Topografia, Elevação.....	28
5.1.3 Histórico da mineração na região.....	29
5.2 Geologia.....	30
5.2.1 Geologia regional.....	30
5.2.2 Geologia local.....	31
5.3 Depósito e Mineralização	33
5.4 Sondagem	34
5.5 Corpo de minério e modelo de blocos	35
6. Função Benéfico.....	38
6.1 Custos.....	38
6.1.1 Custos operacionais.....	38
6.1.2 Custo de equipamentos	39
6.1.3 Funcionários	41
7. Design da cava	42
7.1 Fluxo de caixa.....	43
7.1.1 Fluxo de caixa para compra de equipamentos de lavra	44
7.1.2 Fluxo de caixa para locação de equipamentos de lavra.....	44
7.1.3 Fluxo de caixa ao longo da vida útil da mina.....	45
7.2 Análise de sensibilidade.....	46
8. Processamento	47
9. Análise SWOT (F.O.F.A.).....	48
10. Conclusão	49
11. Referências	51

1. Introdução

A mineração é particularmente importante para os Estados Unidos pois ele é um dos maiores produtores e consumidores de produtos minerais. O Estados Unidos é o maior consumidor do mundo de muitas commodities minerais. De acordo com o *U.S. Geological Survey*, órgão de pesquisa americano, o valor de *commodities* minerais produzidas no Estados Unidos pela mineração representou cerca de \$39 bilhões em 1999. Além do mais, segundo o órgão de pesquisa USDC o número de pessoas diretamente empregada em minas foi de aproximadamente 239 mil no ano 2000.

Quando o recurso mineral é classificado como uma reserva, faz-se o planejamento de lavra que é uma fase primordial na mineração. Essa etapa visa definir o limite da cava final e elaborar o melhor sequenciamento da mina, retirando a menor quantidade de estéril possível, gerando assim maior lucro.

Este estudo apresenta um planejamento de lavra de um local chamado Gabbs no estado de Nevada nos Estados Unidos, sendo este minimamente pesquisado por uma empresa de exploração americana. Os resultados indicam a presença de um corpo mineralizado em ouro com o potencial de ser lavrado com a geração de lucro. As informações obtidas pela empresa de exploração foram fornecidas mas devem ser checadas para confirmar a sua consistência e acurácia.

A principal finalidade deste trabalho é definir a viabilidade ou não de se prosseguir para um estudo mais completo do possível empreendimento mineiro. O trabalho tendo como objetivos específicos analisar a localização e as características do corpo mineral, geologia do local, analisar a acessibilidade, infraestrutura, recursos locais, verificar o contexto histórico, e analisar as licenças e acordos necessários para desenvolver um empreendimento mineiro.

A importância deste trabalho se reflete em aplicar todo o conhecimento adquirido ao longo do curso de Engenharia de Minas de forma organizada e

crítica para tomar-se uma decisão embasada em dados reais. Além disso, o conhecimento de economia mineral e finanças é de extrema importância para realização deste trabalho e o mesmo agregará consideravelmente no crescimento profissional do aluno Cássio Murilo Borges Júnior.

No geral, pode-se caracterizar este trabalho de pesquisa como sendo um estudo de caso, o qual terá as seguintes etapas: coleta de dados; análise e interpretação de dados; conclusão e recomendações.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Fases de uma mina

De acordo com Hartman *et al.* (2002), uma mina pode ser dividida em 5 fases, sendo elas: prospecção, exploração, desenvolvimento, exploração e recuperação.

A primeira, prospecção, se preocupa com a localização do corpo de minério ou outros minerais valiosos, sendo que estes podem estar próximos à superfície ou não. Já a exploração tem como principal objetivo definir a extensão do corpo de minério assim como o seu valor. Nessas duas primeiras fases utilizam-se técnicas similares como trincheiras, furos de trado, sondagem, estudos físicos e químicos.

Já a terceira fase se destina a preparar o depósito para ser explorado, através da construção de vias de acesso, sistemas de transporte, construção de instalações de beneficiamento e suporte, além da obtenção de todas as licenças necessárias à operação.

A quarta fase da mineração consiste na retirada do minério, sendo que esta pode ser feita de diversas maneiras as quais variam também de acordo com a disposição e características do corpo mineral.

Na quinta e última fase, é feita a restauração da área de acordo com o que se definiu que seria feito desde o início da mineração. Algumas ações gerais são, a revegetação da área, tratamento da água, adequação do relevo e retirada das instalações e equipamentos.

2.2 Avaliação do depósito

2.2.1 Levantamento e análise de dados geológicos

Segundo Darling (2011), a análise da geologia após a descoberta do minério é mais focada na avaliação do depósito mineral e é direcionada para o planejamento, operação e até viabilidade da mina. Estes autores também afirmam que um depósito mineral bem definido e suas características geológicas são os únicos aspectos de um projeto mineiro que não podem ser alterados. Além disso, estes dados geológicos são a base para a estimativa das reservas que podem definir a viabilidade ou não de se iniciar a lavra.

A análise destes dados pode ser realizada com a ajuda de softwares amigáveis, porém a sua utilização sem prévio conhecimento da metodologia é um sério risco que pode levar o usuário a interpretações perigosamente equivocadas. Um exemplo desta situação é o entendimento do comportamento de determinados tipos de minério, os quais podem ser encontrados de forma maciça ou dispersa. De acordo com Darling (2011), existem alguns pontos-chaves em que se deve ter bastante atenção durante a coleta de dados geológicos: localização dos dados, litologia, características estruturais, mineralização e presença de alterações.

2.2.2 Estimativa do recurso mineral

De acordo com Darling (2011), a estimativa do recurso mineral é o processo de estimativa da tonelagem, teor, tamanho, forma e localização de depósitos minerais. Ele diz que estas características dos minerais, apesar de nunca serem completamente conhecidas, são baseadas nos dados de amostragem que geralmente consiste em: mapeamento geológico, trincheiras, furos de sondagem, testes metalúrgicos, etc.

Após a análise dos dados de amostragem, um modelo é desenvolvido baseado em alguns métodos como: modelamento de distribuição de teor baseado em histogramas, definição dos limites físicos do depósito através de

interpretação geológica, análise de variabilidade espacial de teor através de variogramas e transformação dos dados de amostragem em relatórios, mapas e planilhas de computador.

Os métodos para modelamento ou estimativa de recursos podem ser divididos em métodos geométricos tradicionais ou métodos de interpolação como krigagem e inverso da distância.

Dentre os métodos geométricos tradicionais, os principais são: *Area Averaging* e Métodos poligonais. No primeiro é, simplesmente, calculada a média dos teores contidos dentro dos limites do corpo de minério. Já no segundo é feita uma média ponderada do teor com a área estimada de influência do mesmo, conforme representado na Figura 1.

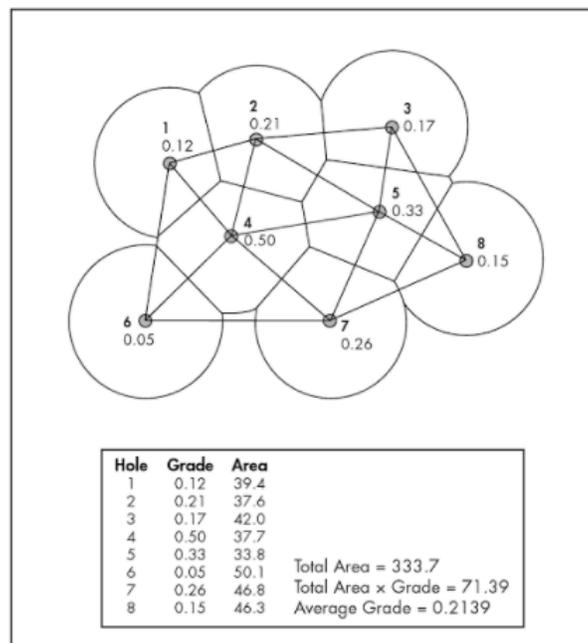


Figura 1: Exemplo de estimativa utilizando o método poligonal. Fonte: SME Handbook (2011).

Atualmente, também é utilizada uma variação do método poligonal representado anteriormente, sendo este chamado de estimativa do vizinho mais próximo. Neste novo método, a área é marcada por quadrados em que o teor de cada bloco é estimado baseando-se no bloco mais próximo (Figura 2).

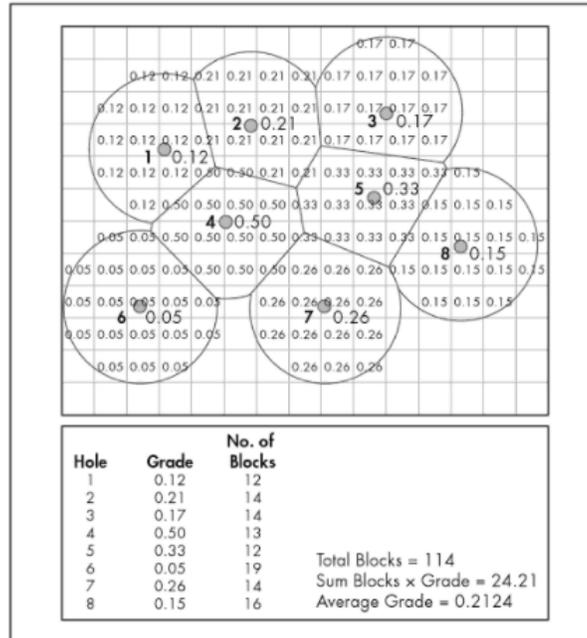


Figura 2: Exemplo de estimativa utilizando o método de vizinho mais próximo. Fonte: SME Handbook (2011).

Dentre os métodos de interpolação, segundo Darling (2011), os mais utilizados são os métodos de média móvel inverso da distância e krigagem. Sendo que estes são métodos utilizados em computadores e ambos seguem um procedimento básico:

- Divisão de corpo de minério em blocos 3D (Figura 3);
- Se controles geológicos estão presentes e influenciarão nos teores, um código geológico deve ser atribuído a cada bloco;
- Estima-se o teor de cada bloco baseando-se em amostras nas proximidades;

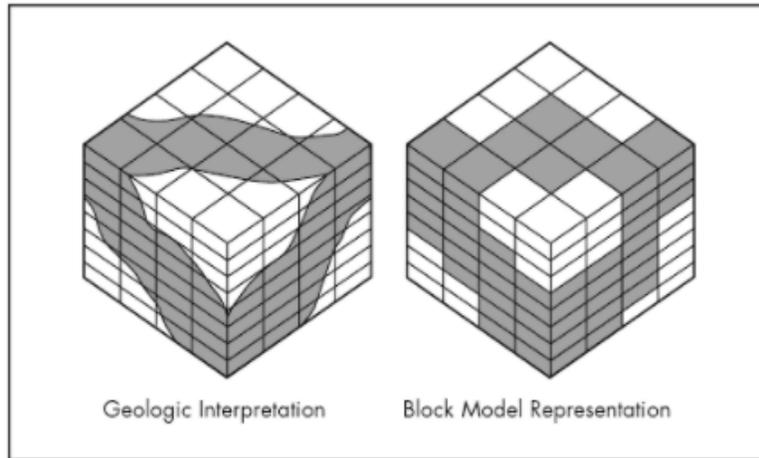


Figura 3: Modelo de blocos. Fonte: SME Handbook (2011).

O inverso da distância teve sua criação baseada no método poligonal clássico (Figura 1), sendo que se observou que o teor assimilado a cada bloco era inversamente proporcional a distância entre a amostra e o local da estimativa. Geralmente são usadas as potências 2 e 3, ou seja, inverso do quadrado ou cubo da distância, porém análises de variância podem melhorar as estimativas e, além disso, comparações dos resultados práticos e das estimativas podem ser utilizadas para otimizar o processo de estimativas.

A krigagem é um método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de auto correlação de variáveis regionalizadas. É necessário que estas variáveis tenham uma certa continuidade espacial para que os pontos conhecidos possam ser utilizados para estimar os desconhecidos, caso contrário, não faz sentido estimar utilizando-se a krigagem.

A análise variográfica é o meio de verificar se existe ou não a continuidade espacial. Quando esta análise é bem elaborada a krigagem, é reconhecida como a melhor estimativa linear e não tendenciosa (BLUE).

A divisão da mina em blocos é uma maneira de delimitar volumes a serem estudados, facilitando assim, análises matemática nos mesmos. Os blocos podem ser de diferentes tamanhos, porém comprimento e largura costumam ser baseados na malha de amostragem, sendo que um valor bastante utilizado é $\frac{1}{4}$ desta malha. Já a altura é dos blocos, geralmente, é baseada na

altura da bancada, que é dimensionada dentre outros fatores a partir do porte dos equipamentos de lavra.

Embora no modelamento de blocos do corpo mineral haja parâmetros subjetivos que estão associados a formação do profissional, geralmente geólogos ou engenheiros de minas, e sua experiência prévia. Segundo Askari-Nasab (2010), existem procedimentos bem definidos com técnicas de modelamento geológico. O método geoestatístico é um dos mais usados para estimar a variável de interesse do corpo de minério, onde os blocos não possuem dados de furos de sondagem. De acordo com Pandey (sem data), um modelo de minério tem três componentes diferentes:

- Caracterização em termos de propriedades geomecânicas e amostras.
- Geometria física das unidades geológicas hospedeiras.
- Aspectos econômicos.

Além disso o modelamento depende de considerações de confiabilidade dos dados, métodos de amostragem, precisão requerida e finalidade da estimativa.

2.3 Etapas do planejamento

Após realizar os furos de sondagem, tem-se a base para iniciar o planejamento de mina que, segundo Askari-Nasab (2010), possui cinco passos principais a serem seguidos: modelo de blocos do corpo mineral, modelo de blocos econômico, limite final da cava, pushback design e cronograma anual da mina. Estes passos são mostrados na Figura 4.

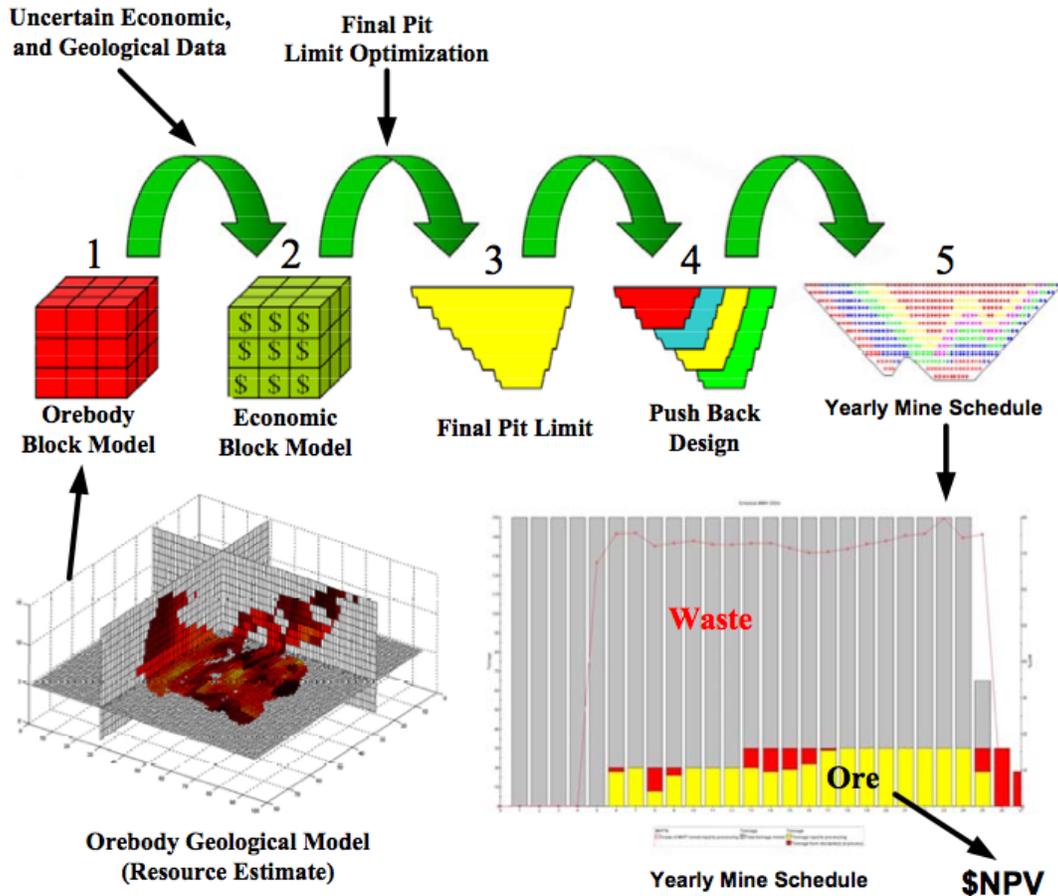


Figura 4: Fluxograma simplificado de um fluxograma de planejamento estratégico de mina. Fonte: Askari-Nasab (2010).

2.4 Blocos econômicos

Já no modelo de bloco econômico, segundo Askari-Nasab (2010), um valor em dólar é atribuído a cada bloco.

“O lucro oriundo da lavra de um bloco depende do valor do minério contido no bloco e os custos com a lavra e processamento desse bloco. O custo de lavra depende da localização espacial, a qual caracteriza quão profundo o bloco está localizado em relação à superfície e quão longe ele está em relação ao destino final. O valor final em dólares de cada bloco no modelo é igual a receita gerada por esse bloco menos os custos incorridos na extração e processamento do mesmo. “

A fórmula apresentada por Askari-Nasab (2010) é a seguinte:

$$\text{Valor em dólar} = \text{Receita} - \text{Custos} \quad (1)$$

Onde a receita é calculada baseada em alguns fatores chave como teor e tonelage do minério, preço e recuperação. Já os custos, segundo Candido (2012), dependem se o bloco é de minério ou estéril. Os principais custos para o bloco de minério são: extração, movimentação, tratamento, transporte final, meio-ambiente, administração e despesas de venda. Já o bloco de estéril tem os seguintes custos: extração, remoção e deposição. Todos estes dados devem ser utilizados na função benefício.

2.5 Função benefício

Segundo Peroni *et. al.* (2012), a função benefício, utilizada para valorização dos blocos, pode ser dada pela diferença entre receitas e custos. O autor considera que os custos envolvidos são os de lavra e beneficiamento, sendo a soma destes igual ao custo operacional. Já a receita é a proveniente da venda do minério. Em seguida calcula-se o teor de corte utilizando estes dados acima além da recuperação global do processo de beneficiamento, conforme a equação 2 a seguir.

$$\text{Teor de corte} = \frac{\text{Custos operacionais}}{\text{Rec. global} \times \text{Preço de venda do concentrado}} \quad (2)$$

O teor de corte é essencial para a classificação de um determinado bloco em estéril ou minério. O bloco com teor médio abaixo do teor de corte é considerado estéril e caso contrário é considerado minério.

2.6 Limite da cava

O terceiro passo, limite final da cava, de acordo com Askari-Nasab (2010), é muito importante podendo afetar seriamente tanto as questões financeiras, geométricas, como ambientais. Devido a grande importância, alguns *softwares* de planejamento hoje em dia já possuem módulos ou funções internas

que propõem a cava ótima automaticamente. Os métodos mais utilizados são Lerchs e Grossmann e Cones Flutuantes. O primeiro, segundo Candido (2012), foi baseado na Teoria dos Grafos, e desenvolvido utilizando a técnica de programação dinâmica, o que gerou vantagens como a obtenção rápida da solução com precisão e simplicidade. Já o método dos Cones Flutuantes, é um método que gera a cava ótima final por tentativas, levando em consideração as restrições físicas e geomecânicas.

A maioria dos autores concordam que alguns dos elementos principais na determinação da cava ótima são: valor econômico da cava, volume de minério e estéril, teor médio, geometria da cava e facilidade na operacionalização.

Segundo Oliveira (2016), esses elementos podem ser divididos em três tipos:

- Fatores naturais e geológicos
- Fatores econômicos
- Fatores tecnológicos

Os fatores naturais e geológicos são, por exemplo, topografia, geologia, mineralização, hidrologia, e características metalúrgicas. Já os fatores econômicos podem ser: teor de corte, preço do mineral, condições de mercado, quantidade de minério, custos e receitas e relação estéril minério. Por fim, os fatores tecnológicos são: altura das bancadas, tipo dos equipamentos, ângulo de talude, limites físicos e legais da propriedade, incluindo novas tecnologias de tratamento de minérios, assim como desenvolvimento de novos sub-produtos.

Um parâmetro muito utilizado na escolha da cava final é o Valor Presente Líquido (VPL), no qual calcula-se o valor presente do objeto em estudo descontado no tempo.

Finalmente, é muito importante analisar-se o grau de incerteza associado ao depósito. Segundo Peroni *et. al.* (2012), além da análise de sensibilidade dos parâmetros econômicos, é fundamental que se faça uma análise da incerteza dos teores. A figura 5, a seguir, mostra como a variação no teor pode influenciar no valor do projeto após o sequenciamento de lavra da cava final.

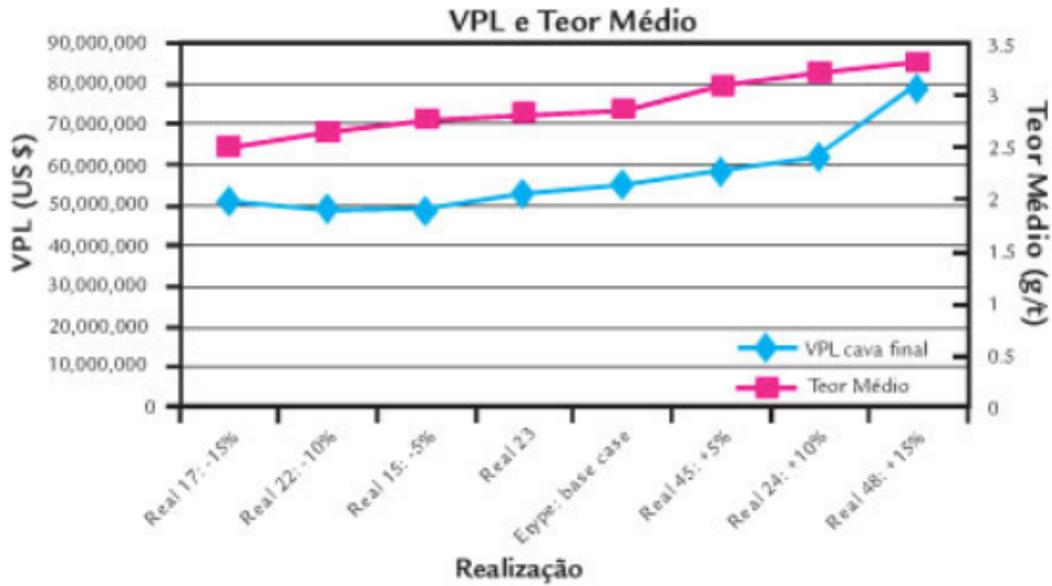


Figura 5: Influência do teor médio no Valor Presente Líquido. Fonte: Peroni et. al. (2012).

A análise de sensibilidade também, como dito anteriormente, deve ser feita, pois ela pode influenciar bastante o valor do projeto, conforme representa a figura 6 a seguir. Nessa análise, o autor estuda a como alguns fatores como preço, custos operacionais, recuperação e teor influenciam no VPL do projeto.

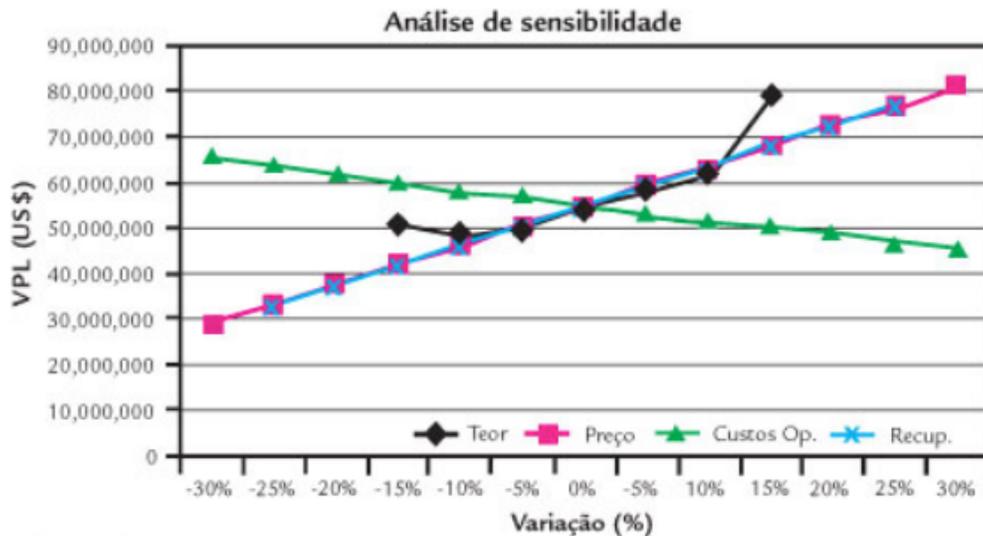


Figura 6: Análise de sensibilidade aos parâmetros econômicos. Fonte: Peroni et. al. (2012).

2.7 Push Back Desgin

De acordo com Askari-Nasab (2010), um pushback é um incremento viável de uma cava a céu aberto ao longo do tempo. Após definir a cava ótima ainda há uma etapa importante que definirá quais seções desta cava ótima serão lavradas ao longo do tempo. Esta etapa é planejada antes do início da lavra e um teor de corte fixo, ou seja, o teor mínimo que se pode lavar mantendo a viabilidade econômica, é utilizado na otimização geralmente realizada por um software de planejamento. Além disso, existem algumas restrições principais como por exemplo: capacidade da mina e do moinho, ângulo de talude e restrições de mercado.

De acordo com Dagdelen (2001), os limites da cava que maximizam os lucros não descontados provavelmente não serão os mesmos que maximizarão o VPL devido a variação do valor do dinheiro em função do tempo.

Dagdelen (2001) diz que as cavas ótimas acabam sendo menores que o esperado e mesmo com uma quantidade menor de minério acabam apresentando um valor maior devido ao efeito da variação do valor com o tempo que acaba reduzindo o valor dos blocos a serem minerados após muitos anos do começo da lavra. A explicação para tal seria que a receita gerada por esse minério quando trazida para valores presente acaba se tornando muito pequena e já o custo necessário para lavar o estéril acima desse minério é incorrido logo nos primeiros anos e acabam representando altos valores de VPL nos anos posteriores. Dagdelen (2001) sugere que um cronograma anual e um estudo preliminar completo sejam feitos para obter-se melhores resultados.

Whittle (2011) vai mais longe e diz que é possível melhorar ainda mais o VPL, mas não é através de softwares melhores, mas sim mudando a forma como as minas são gerenciadas, principalmente na parte do foco dos gestores. Ele diz que tal melhora poderia parecer a princípio responsável por gerar resultados piores como o aumento do custo de lavra por tonelada, aumento dos gastos, redução da recuperação da usina de tratamento e redução do tempo de vida da mina. Porém, no longo prazo essas medidas trazem benefícios. Um dos problemas com a gestão é o fato de que os gestores, para facilitar a gerência da

mina, costumam focar muito somente na sua área e nos resultados de curto prazo.

As figuras 7, 8 e 9 a seguir mostram três cenários de fluxo de caixa para uma mina, sendo estes, Fluxo de caixa manual, Fluxo de caixa normal moderno e Fluxo de caixa completamente otimizado, respectivamente. O primeiro representa um fluxo de caixa gerado manualmente; o segundo mostra um fluxo comum gerado por um software de planejamento e o último mostra o modelo proposto pelo autor que leva em consideração visões diferentes de gestão, como citado anteriormente.

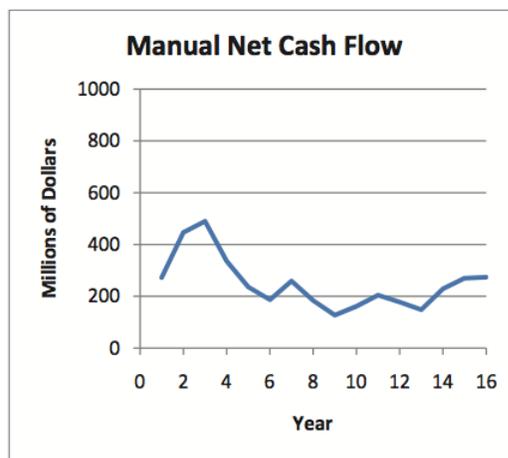


Figura 7: Fluxo de caixa manual. Fonte: Whittle (2011).

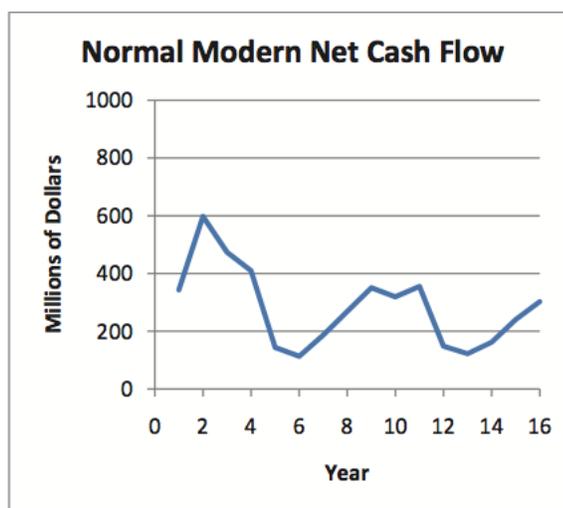


Figura 8: Fluxo de caixa normal moderno. Fonte: Whittle (2011).

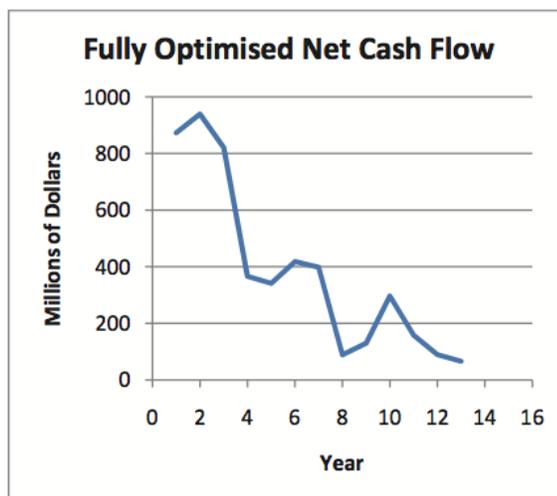


Figura 9: Fluxo de caixa totalmente otimizado. Fonte: Whittle (2011).

Meagher et. al. (2014) propõe um modelo de design de *pushback* utilizando teores de cortes variáveis ao longo do tempo de vida da mina. Além disso os autores propõem um modelo computacional que diminui consideravelmente o tempo de computação dos dados, pois tal modelo de teor dinâmico, se computado com modelos de otimização tradicionais, tornar-se-ia inviável. O modelo proposto fornece uma solução fracional que é então transformada em inteira pela técnica “*Pipage Rounding*”. De acordo com os autores, o modelo de design foi capaz de aumentar o VPL e com um tempo de resposta viável proporcionado pelo modelo computacional utilizado.

Na literatura existem outras técnicas de *pushback* que usam como meta não somente o maior VPL, e sim outros fatores como maximizar a quantidade de metal lavrado, reduzir o decapeamento ou, ainda, conceitos como “melhor minério” pode ser usado. Este conceito descreve o minério que tem um alto teor e uma maior facilidade de acesso, ou seja, menor quantidade de estéril que precisa ser removida para alcançá-lo.

Outra técnica interessante é proposta por J. Gholamnedjad, J. e M. Osanloo (2007). Os autores afirmam que as cavas são geradas baseadas nos teores de cada região, porém, na hora de gerar os *pushbacks*, a incerteza associada com as estimativas de teores não é levada em conta. Eles dizem que na elaboração de *pushbacks* existem algumas incertezas como: especificações

técnicas como ângulos de talude; econômicas como custos de operação e preços das *commodities*; variabilidade de teor e tipo de material. Dentre estas incertezas, os autores consideram a incerteza relacionada com o modelo de corpo de minério e teor *in situ* como a principal causa de não atingimento das expectativas de projetos. Partindo disso, eles propõem uma nova definição para “melhor minério” como sendo: “Material que tem alto teor, baixa incerteza e necessita pouco decapeamento para extração. “

2.8 Operacionalização de cava

Segundo Rocha (2015), a cava final é formada de linhas de contorno que passam pelos centros dos blocos que entraram na otimização. Com isso, durante a etapa de operacionalização da cava, é necessário definir os limites operacionais como rampas, pés, cristas e acessos. Alguns parâmetros operacionais como: altura da bancada, ângulos de taludes, largura da berma, largura da praça e largura da rampa, podem fazer com que a cava operacional se diferencie da cava final. Porém, segundo Rocha (2015), uma variação de até 5% para minério e 10% para estéril, são os desvios aceitos pela indústria.

3. Premissas / suposições

Premissas utilizadas neste projeto:

- Pouca importância para drenagem ácida.
- Custo da planta de processamento.
- Acordo de recuperação com o dono da terra, tornar a cava em uma lagoa, ajustar taludes ao ângulo natural.
- Testes metalúrgicos e de processamento foram feitos com acurácia.
- Amostragem foi feita com acurácia.
- Estudos cultural, histórico, arqueológico, biológico e aquático foram feitos durante a fase de exploração e nenhum problema teve que ser resolvido.
- Densidade da rocha e fator de empolamento foram baseados na geologia de Tonopah.
- Estimativa de perfuração e desmonte própria ou terceirizada.
- Nenhum problema na região relacionado a rio, lago ou bacia.
- Eletricidade, água, combustível e mão-de-obra disponíveis no distrito de Tonopah.
- Parâmetros geotécnicos estimados com base nos utilizados pelas minas similares da região.
- Mão-de-obra mais especializada pode ser trazida de Reno e Las Vegas.
- Taxa de retorno interna de 10 a 15% por ser a utilizadas por empresas similares da região.

4. Metodologia

Este trabalho representa um estudo de caso que será realizado seguindo as etapas:

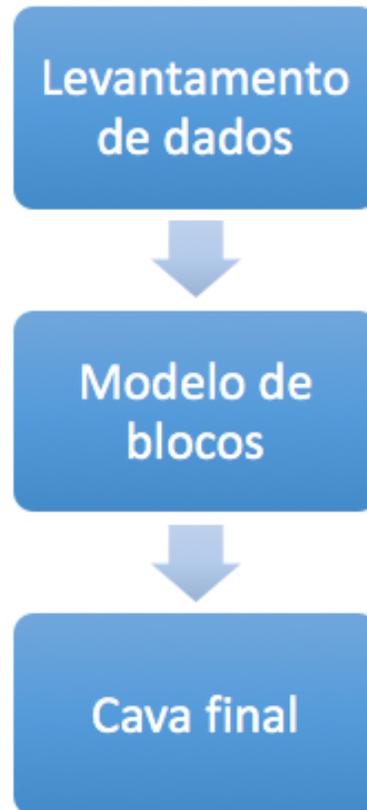


Figura 10: Metodologia utilizada no trabalho.

Os dados utilizados como base neste estudo são os dados levantados na exploração feita pela empresa de exploração americana. Estes dados são provenientes de 21 furos de sonda.

Primeiramente foram analisados os dados referentes à descrição da propriedade e histórico da mineração no local. Em seguida foram analisados os dados referentes a acessibilidade, infraestrutura e recursos locais. As geologias local e regional também foram analisadas.

Partindo-se dos dados de sondagem fornecidos pela empresa de exploração, estes foram lançados em um software de planejamento, onde será

feito um modelo tridimensional do corpo do minério. Em seguida, foi gerado um modelo de blocos, o modelo econômico e por fim a cava ótima.

Quanto aos dados econômicos e financeiros, foram analisados os custos envolvidos na mineração como custos operacionais, de equipamentos, de processamento e dos funcionários. Além disso, foram realizadas simulações de fluxos de caixa e de diferentes cenários como a compra versus o arrendamento dos equipamentos. Por fim, serão analisados dados estratégicos do empreendimento para definir a atratividade do empreendimento.

5. Estudo de caso

5.1 Levantamento de dados

5.1.1 Localização e acessibilidade

Primeiramente, foram levantados dados referentes ao local como acessibilidade, infraestrutura e recursos locais.

A exploração atualmente se dá em 3719 acres em um rancho particular e consiste em furos de sondagem rotativa de 61 metros e um furo de 183 metros, para identificar alvos e descobrir o teor e extensão destes. A propriedade é localizada no vale Big Smokey e é parte do cinturão Walker Lane Mineral rico em ouro. As principais cidades próximas são Las Vegas a 336km e Reno a 377km. O aeroporto de Tonopah, cidade mais próxima, é pequeno e capaz de receber somente jatos pequenos. Além disso, o local não possui malhas ferroviárias.



Figura 11: Localização da propriedade. Fonte: Google Maps.

5.1.2 Topografia, Elevação

A Elevação do local (Figura 12) é de 1800 metros com curvas de nível de 3 metros. A topografia é favorável a atividade de mineração com nenhuma mudança abrupta de elevação.

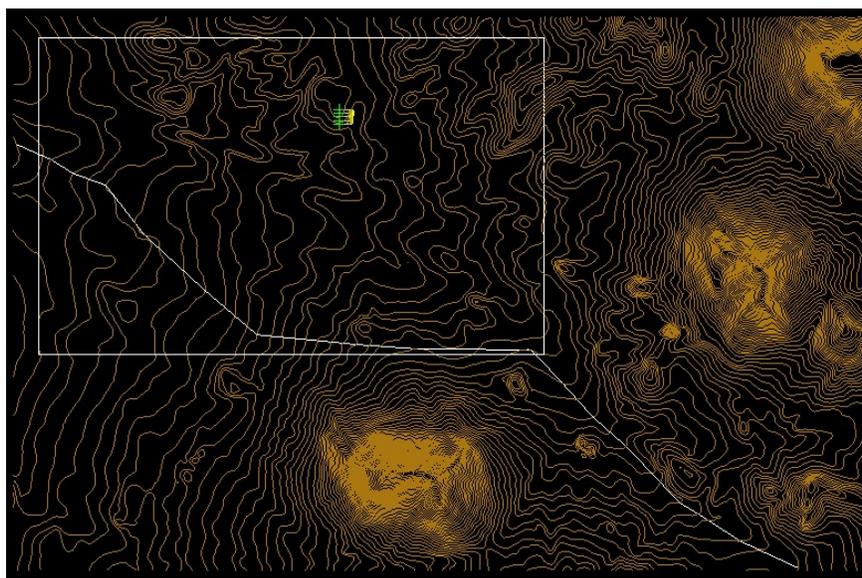


Figura 12: Mapa topográfico da região. Fonte: Topoquest.

5.1.3 Histórico da mineração na região

A primeira descoberta de prata na região ocorreu em 1900 com o início das operações de lavra pouco tempo depois. A maior produção ocorreu no ano de 1930, mas na época da Segunda Guerra Mundial a produção já era bem menor e quase encerrou em 1947 com o fechamento da única linha de trem da região.

A produção minerária da região de Tonopah (Figuras 13 e 14) é principalmente de ouro, prata e cobre, com pequenos empreendimentos. Algumas das principais minas da região são, por exemplo, Bell of Tonopah e The King Tonopah Mine logo a leste de Gabbs.

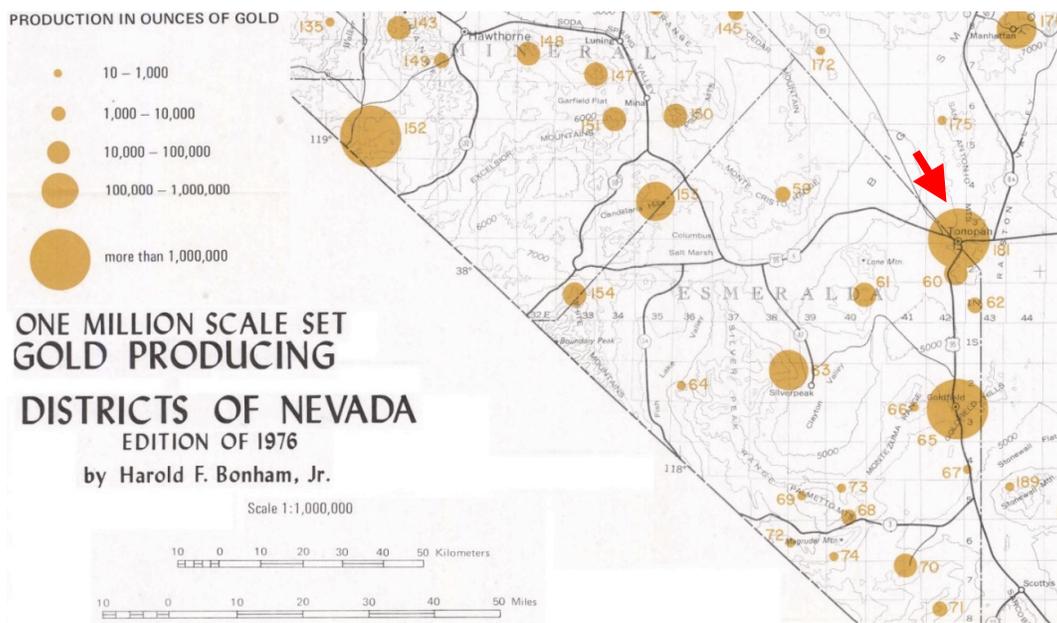


Figura 13: Produção de ouro em Nevada. Fonte: Nevada Bureau of Mines.

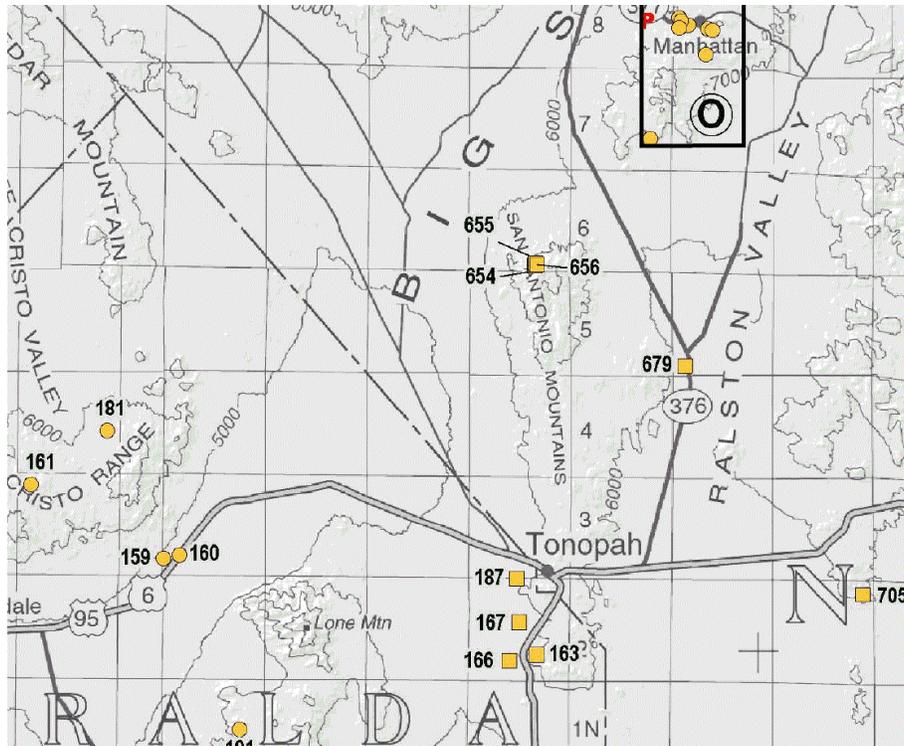


Figura 14: Projetos de ouro na região. Fonte: Nevada Bureau of Mines. 655/654/656 – Cimmaron Gold Resource #1, 2, 3. 679 – Midway Project. 187 – Three Hills. 167 – Hill of Gold. 163 – Divide (Gold Mountain). 166 – Hasbrouck

5.2 Geologia

5.2.1 Geologia regional

A região sofre ação da placa Farallon empurrando para leste e sofrendo subducção sob o continente norte americano, criando compressão e extensão na crosta. Esse processo de extensão causou falhas normais criando a província Basinand Range que cobre a maior parte do estado de Nevada. O sistema de falhas permitiu a intrusão de material ígneo na rocha mãe. Além disso, outras intrusões posteriores causaram alteração na mineralogia existente.

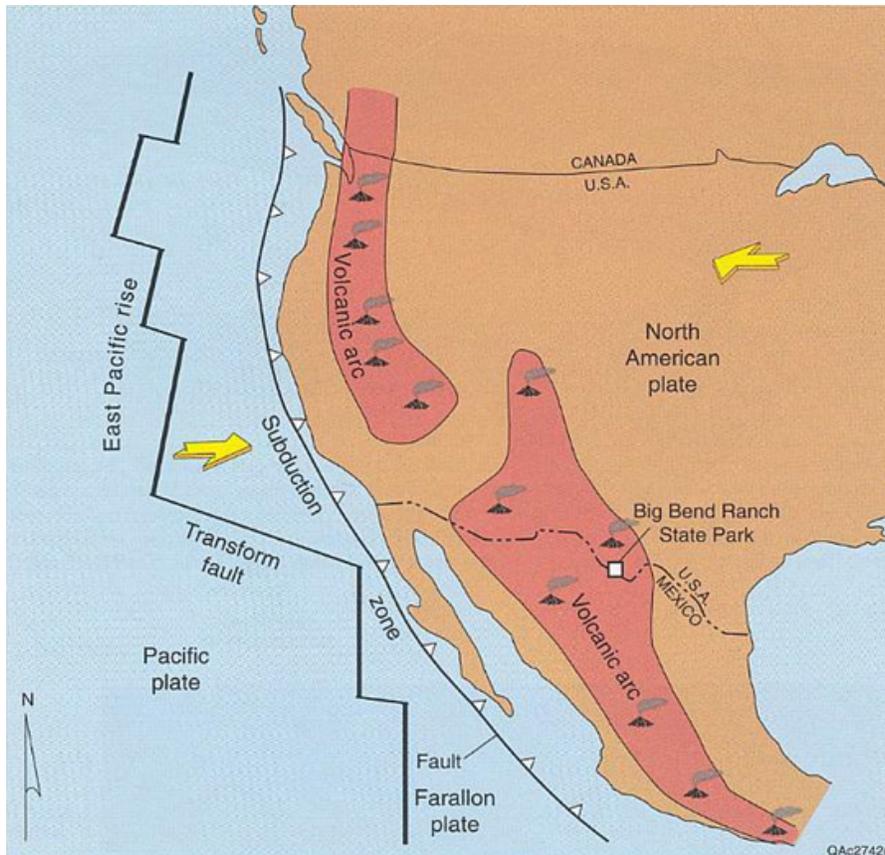


Figura 15: Geologia da região.

5.2.2 Geologia local

A geologia local, entre as montanhas San Antonio e Monte Cristo, consiste de depósitos sedimentares sobrepostos por riolitos vulcânicos, tufos, brecha e andesito que foram depositados entre 7 e 20 milhões de anos atrás (Figura 16). Os movimentos de extensão têm causado falhas normais e inversas e com o movimento da placa do pacífico para norte e da placa norte americana para sul, estes tornaram a geologia local bastante complexa.

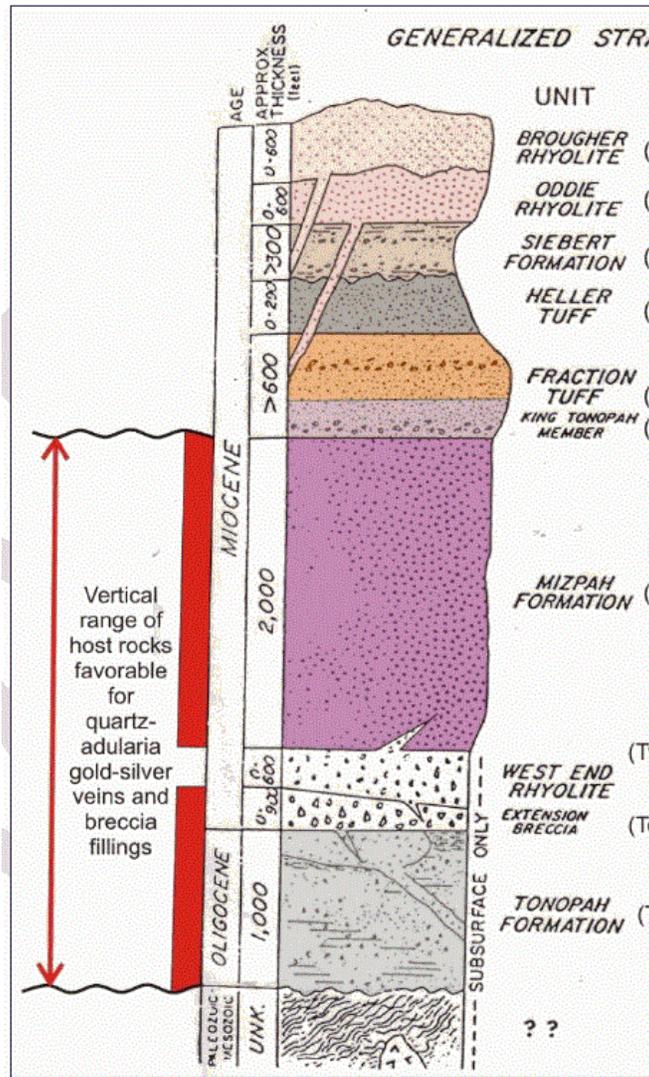


Figura 16: Geologia de Tonopah.

Na área do depósito, encontra-se de 16 a 18 metros de areia aluvionar e cascalho por cima do corpo de minério que vão permitir um método relativamente barato de remoção do capeamento. As primeiras formações abaixo do depósito aluvionar são os riolitos Brougner e Oddie, seguidos das formações Siebert e Mizpah. Abaixo da formação Mizpah está a formação Tonopah, que consiste de 300 metros de brechas e andesitos. Como a formação Mizpah tem aproximadamente 600 metros de espessura, o corpo de minério se encontra nessa formação que consiste em andesitos. Historicamente, a maioria

dos corpos de minério de Tonopah encontram-se na formação Mizpah. A geologia da área pode ser vista na figura 17 a seguir.

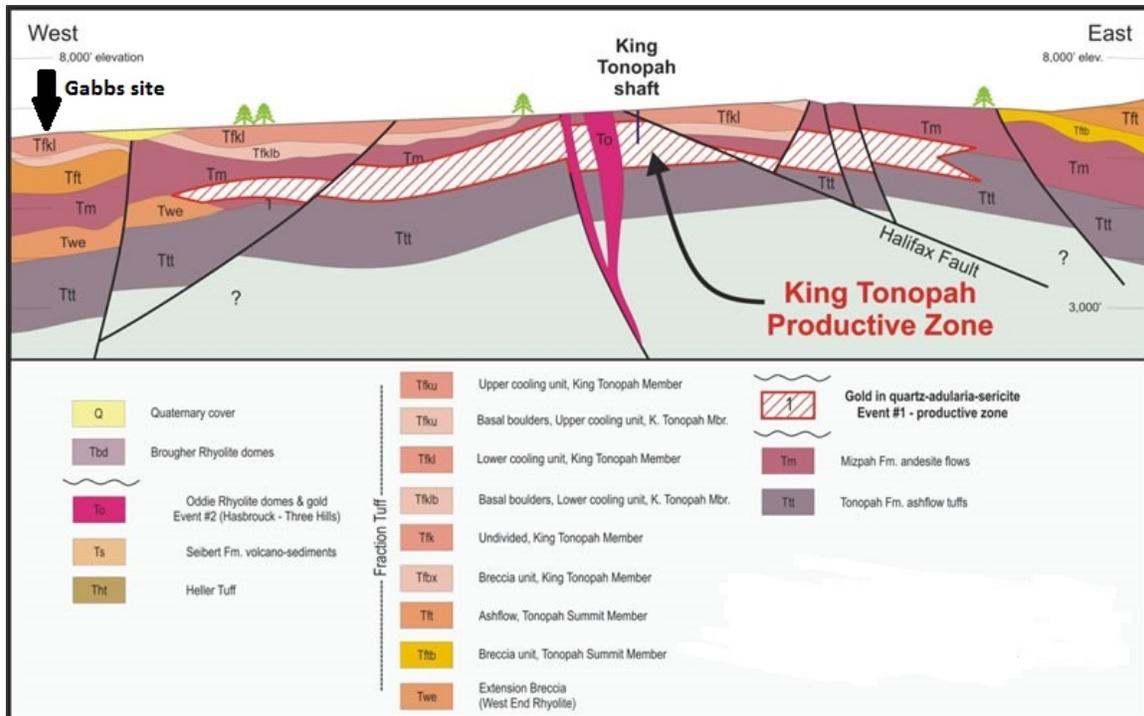


Figura 17: Geologia do depósito. Fonte: cortesia da Tonogold Resources.

5.3 Depósito e Mineralização

O depósito de Gabbs é um óxido de ouro (Au_2O_3) intrusivo. A mineralização do corpo de minério é característica de um sistema de veios epitermais contendo argentita, quartzo, polibasita e pirargirita. A figura 18 a seguir mostra um depósito deste tipo.

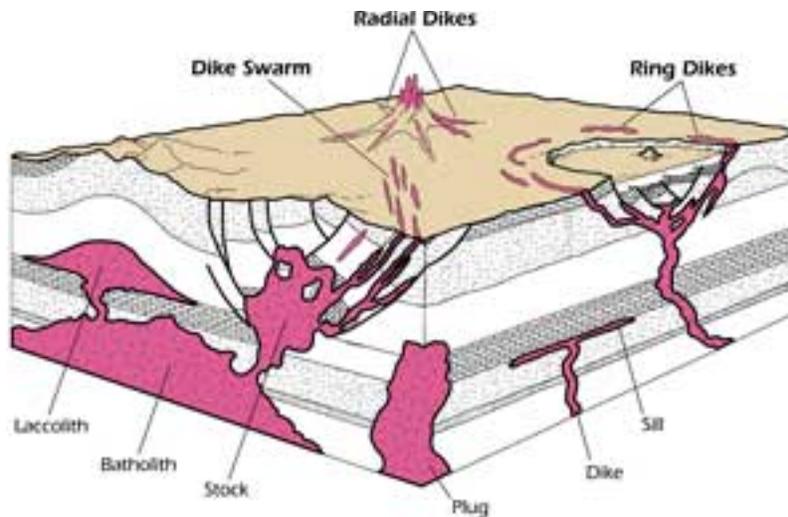


Figura 18: Depósito semelhante ao de Gabbs.

A mineralização presente era formada inicialmente por quartzo, pirita, esfarelita, rodocrosita, calcopirita, galena e ouro. Após o segundo evento de mineralização ocorrer, alguns minerais foram substituídos como a argentita, quartzo, polibasita e pirargirita.

5.4 Sondagem

Inicialmente, foram feitos 9 furos de sondagem para localizar o corpo de minério. Estes furos indicaram um valor potencial que justificou uma melhor investigação. Amostragens iniciais indicaram uma média de 1,8 gramas de ouro por tonelada. Na fase seguinte foram feitos 8 furos para definir a extensão do corpo de minério com um ponto central mais profundo com o objetivo de descobrir a profundidade do corpo. Os furos indicaram a presença de outro corpo de minério abaixo do identificado previamente, com um teor um pouco mais baixo. Posteriormente, foram realizados mais 4 furos, sendo 2 a norte e 2 a sul do corpo. Estes furos mostraram que o minério se estende mais de 15m a norte e a sul, mas não mais que 45m, pois os furos a 45m do corpo não mostraram minério. A figura 19 mostra uma ilustração do corpo de minério.

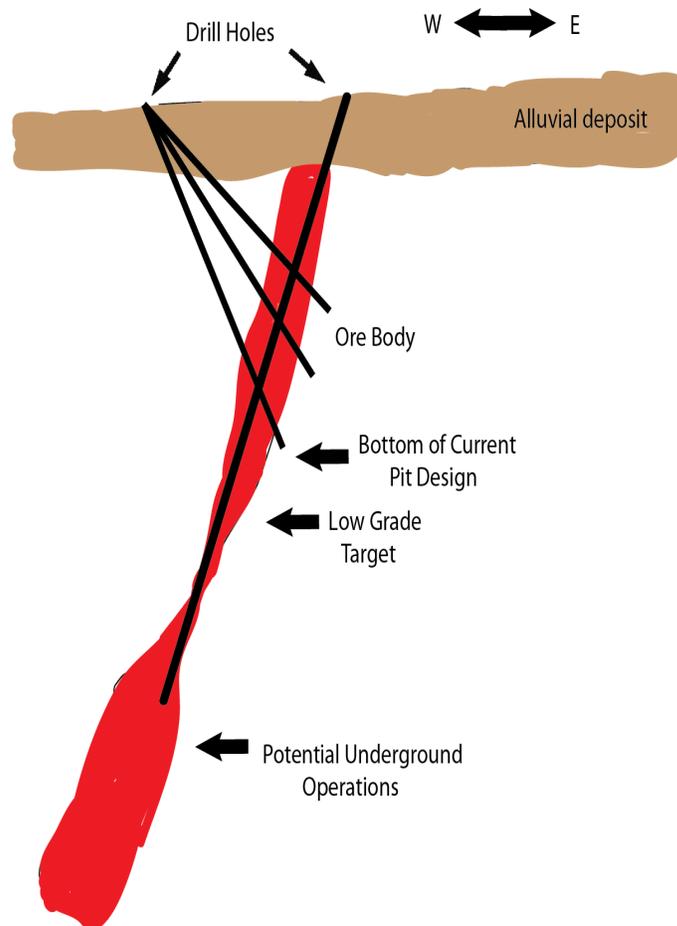


Image constructed by J. Brezina, AMG project

Figura 19: Ilustração do corpo de minério.

5.5 Corpo de minério e modelo de blocos

Após a importação dos dados referentes aos primeiros 9 furos de sondagem no software Vulcan, gerou-se um bloco de minério e já foram marcados os locais dos próximos 8 furos, como mostra a Figura 20 a seguir.

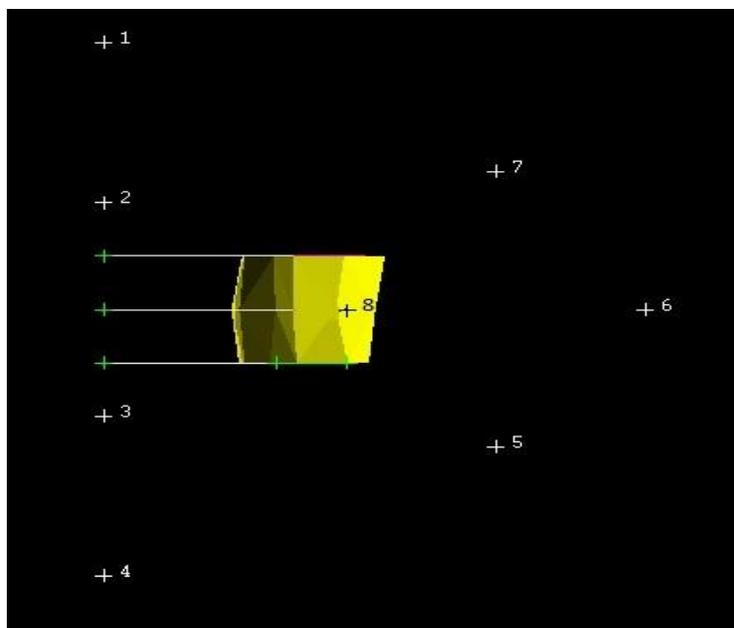


Figura 20: Bloco de minério inicial.

Furos 1 ao 4: E / -45° 61 m
 Furo 5: NW / -45° 61 m
 Furo 6: W / -45° 61 m
 Furo 7: SW / -45° 61 m
 Furo 8: W / -67° 183 m

Após a realização dos 8 furos citados anteriormente mais os 4 furos finais, gerou-se um corpo de minério superior mais extenso (Figura 21) e descobriu-se a presença de um corpo inferior (Figura 22). Por fim, criou-se um modelo de blocos com blocos de 12 x 12 x 12 metros e sub-blocos de 1,5 x 1,5 x 1,5 metros (comprimento, largura, altura) (Figura 23).

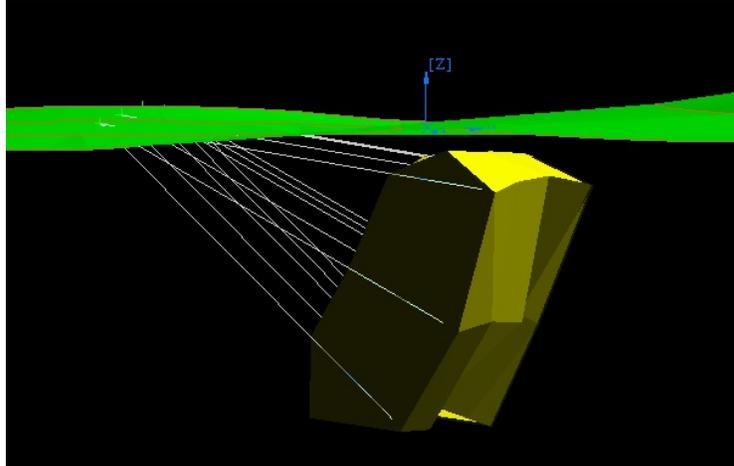


Figura 21: Bloco superior e topografia local.

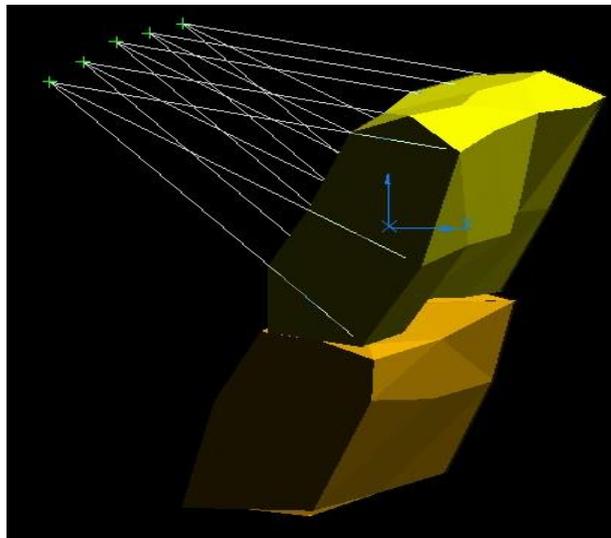


Figura 22: Blocos superior e inferior.

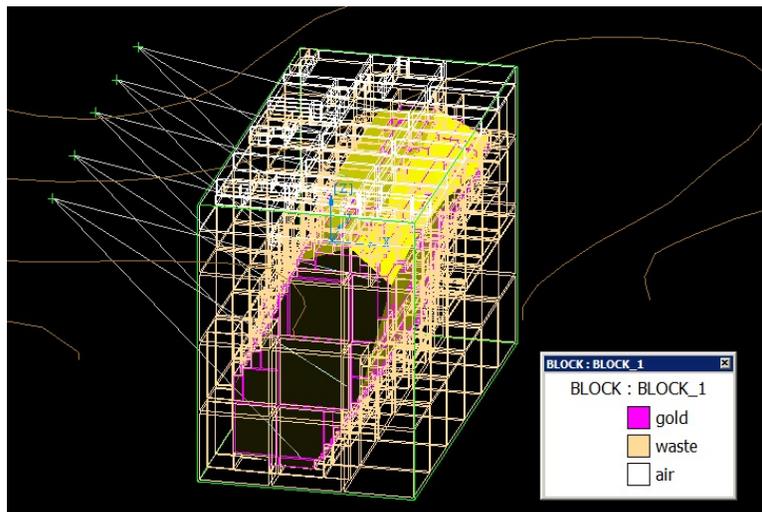


Figura 23: Modelo de blocos.

6. Função Benefício

Primeiramente, calculou-se o custo operacional total, somando-se os custos operacionais anuais da tabela 1. Chegou-se ao custo operacional por tonelada de minério, dividindo-se o custo operacional total pela quantidade total de minério (5455198 t). Em seguida, estipulou-se a receita, sendo esta a proveniente da venda do ouro, considerando o preço de ouro a \$1000 por onça troy. Por fim calculou-se o teor de corte, conforme a equação 2, considerando-se uma recuperação global de 85% por ser a alcançada por empresas similares na região.

Custos operacionais = \$167181569 / 5455198 = \$3,06/ton

Receita = \$1000/ onça troy

$$\text{Teor de corte} = \frac{3,06}{0,85 \times 1000} = 0,0036 \text{ onças troy/t}$$

6.1 Custos

Em seguida, iniciou-se uma análise econômica do empreendimento, considerando uma produção de aproximadamente 5000 toneladas de minério por dia. Partindo-se desta taxa de produção, estimou-se um período de aproximadamente 8 meses para desenvolvimento, 3,5 anos de lavra caso não haja descoberta de mais minério, e 2 anos para processamento final e recuperação da área.

6.1.1 Custos operacionais

Primeiramente foi levantado o custo operacional estimado (Tabela 1).

Tabela 1: Custos operacionais.

Item	#	Preço (US\$)	Custo por ano (2-4)	Custo no ano 5	Custo no ano 6
Eletricidade (MWh)	10	0.07	\$700,000	\$150,000	\$50,000
Água potável (US gal x 1000)	219	6.65	\$5,500	\$3,000	\$2,000
Água de processo (US gal x 1000)	14000	0	\$0	\$0	\$0
Diesel (US gal x 1000)	1,427	3600	\$5,137,200	\$0.00	\$500,000
Gasolina (US gal x 1000)	73	3600	\$262,800	\$30,000	\$30,000
Gás (pés cub. x 1000)	35000	10	\$350,000	\$140,000	\$40,000
Explosivos (t)	2000	2780	\$5,560,000	\$0	\$0
Pessoal	45		\$6,995,600.64	\$2,992,165.92	\$1,088,601.12
Lixiviamento/ Britagem/processamento		\$16 - \$21 ton	\$31,500,000.00	\$10,000,000.00	\$0.00
Custo op. total por ano			\$50,511,100.64*	\$13,937,665.92	\$1,710,601.12

6.1.2 Custo de equipamentos

Foram estimados os custos com equipamentos diretamente relacionado a lavra, através de uma análise tanto de compra quanto de locação dos mesmos, além de equipamentos variados necessários para a operação.

6.1.2.1 Equipamentos de Lavra

A tabela 2 a seguir mostra os custos estimados de compra dos equipamentos de lavra, tanto para equipamentos novos quanto para usados.

Tabela 2: Custos de compra de equipamentos de lavra.

Modelo	#	Equipamento novo, \$ por un.	Equipamento usado, \$ por un.
Cat 777 Caminhão	9	\$1,300,000.00	\$800,000.00
CatD-10 Carregadeira	2	\$1,360,000.00	\$800,000.00
Cat 993 Carregadeira	3	\$2,668,445.00	\$900,000.00
Cat 345 Escavadeira	1	\$750,000.00	\$310,000.00
Cat Niveladora	1	\$858,000.00	\$600,000.00
Cat 615 Caminhão de água	1	\$680,000.00	\$425,000.00
Caminhão de combustível	1	\$125,000.00	\$82,000.00

Perfuratriz	1	\$720,000.00	\$450,000.00
Bobcat	2	\$60,000.00	\$60,000*
Caminhão de explosivos	1	\$88,000.00	\$58,000.00
Custo total		\$25,766,335.00	\$13,575,000.00

Também foram estimados os custos de locação dos equipamentos de lavra (Tabela 3). Os equipamentos que apresentam um período de locação maior que 38 meses serão usados na recuperação da área de lavra.

Tabela 3: Custo de locação dos equipamentos de lavra.

Modelo	#	Locação \$ /mês	período (mês)
Cat 777 Caminhão	9	\$35,500.00	38
CatD-10 Carregadeira	2	\$34,500.00	60
Cat 993 Carregadeira	3	\$61,000.00	38
Cat 345 Escavadeira	1	\$15,000.00	48
Cat Niveladora	1	\$13,020.00	48
Cat 615 Caminhão de água	1	\$11,050.00	40
Caminhão de combustível	1	N/A	0
Perfuratriz	1	N/A	0
Bobcat	2	N/A	0
Caminhão de explosivos	1	N/A	0

O custo total de locação dos equipamentos de lavra, calculado utilizando a tabela 3, foi de US\$ 25.021.960,00.

6.1.2.2 Equipamentos variados

Tabela 4: Custo de equipamentos variados.

Equipamentos	#	Preço por un. (US\$)
Bombas	2	50,000
Correias	1	5,800,000
Tanques de combustível	1	25,000
Berma c/ geomembrana	1	16,000
Tanques de água potável	1	22,000
Tanques de água	3	4,000
Banheiro móvel*	8	600/ mês

Trailers	5	30,000
Caminhonetes	4	45,000
Gerador móvel	1	820,000
Local para explosivos	1	11,500
Custo total de equipamentos variados		\$7,141,300.00

* O número de banheiro móvel significa o tempo de locação do equipamento.

6.1.3 Funcionários

O custo com funcionários foi feito considerando ambos os cenários de compra e locação dos equipamentos de lavra, pois isto afeta o quadro de funcionários como mostrado na tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Quadro de funcionários necessário a operação.

Funcionários	Salario (US\$/h/pessoa)	# pessoas (ano 2-4) (Comprando equipamento)	# pessoas (ano 2-4) (Locando equipamento)	# pessoas (ano 5)	# pessoas (ano 6)
Engenheiro de minas	40	1	1	0	0
Engenheiro ambiental	35	1	1	1	1
Engenheiro Sênior	50	1	1	1	0
Pessoal do processamento	30	4	4	4	0
Planejador de longo prazo	40	1	1	0	0
Operadores de equipamentos	23	15	15	3	3
Pessoal da britagem	28	2	2	0	0
Pessoal de explosivos	24	2	2	0	0
Geólogos	28	2	2	0	0
Metalúrgicos	28	1	1	1	0
Eletricistas	25	2	2	0	0
Mecânicos	24	3	1	1	0
Pessoal de pesquisa	21	2	2	0	0
Secretários	18	2	2	1	1
Relações públicas	18	1	1	0	0
Seguranças	18	1	1	1	0
Pessoal do tratamento do rejeito	21	2	2	2	2
Superintendente	55	1	1	1	0
Contador	25	1	1	1	0
Trabalho geral	19	0	2	1	1
Total		45	45	18	8

A partir do quadro de funcionários e salários, representados na tabela 5, calculou-se os custos totais com funcionários (Tabela 6).

Tabela 6: Custo total com funcionários.

	Ano 2-4	Ano 5 (comprando equip.)	Ano 5 (locando equip.)	Ano 6
Custo total de funcionários por hora (US\$)	1,176	1,166	503.00	183
Total de benefícios por hora (US\$)	443.35	440	189.63	69
Salario total por ano (com benefícios) (US\$)	6,995,600.64	6,936,114	2,992,165.92	1,088,601

Também foram estimados outros custos como licenciamento, instalações, e recuperação da área que juntamente com os custos de equipamentos, levantados anteriormente, totalizaram o custo fixo (Tabela 7).

Tabela 7: Custos fixos.

Custos	Custos (US\$) (Comprar equipamentos)	Custos (US\$) (locação de equipamentos)
Licenciamento	\$114,225.00	\$114,225.00
Instalações	\$16,000,000.00	\$15,000,000.00
Equipamentos de mineração	\$13,575,000.00	\$740,000*
Equipamentos variados	\$7,141,300.00	\$7,141,300.00
Recuperação	\$6,000,000.00	\$6,000,000.00
Custo fixo total	\$42,830,525.00	\$28,995,525.00

7. Design da cava

Posteriormente, foram feitos estudos de viabilidade em uma cava na qual ambos os corpos de minério seriam extraídos por completo. Porém, a relação estéril/minério era muito alta, cerca de 33/1. Uma relação dessa magnitude poderia justificar a abertura de uma lavra subterrânea para a exploração do corpo inferior. Então, decidiu-se focar no corpo superior que apresenta maior teor. Essa decisão provou-se benéfica pois reduziu a relação estéril/minério em cerca de 6 vezes e não reduziu muito a quantidade recuperada de ouro (Tabela

8). Além do mais, diferentes ângulos de taludes foram analisados e o ângulo de 60° foi o escolhido. A figura 24 mostra a cava maior em amarelo e a cava menor escolhida em verde.

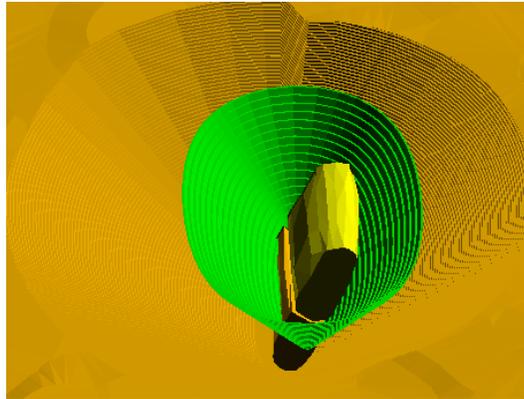


Figura 24: Cavas analisadas.

Tabela 8: Diferentes cavas avaliadas.

	Cava grande	Cava peq. (70°)	Cava peq. (65°)	Cava peq. (60°)
Ton. de minério	8,058,076	5,455,198	5,455,198	5,455,198
Ton. de estéril	269,649,828	23,068,462	25,848,626	30,345,501
REM	33.5	4.8	5.4	6.3
Teor médio (g/ton)	1.4	1.83	1.83	1.83
Onças troy de ouro	362,129	320,637	320,637	320,637

Com a cava já definida, pôde-se estimar a quantidade de ouro a ser lavrada. O corpo superior, com um teor médio de $0,085 \pm 0,01$ onças troy por tonelada, apresenta um total estimado de 311584,6 onças troy de ouro. Como o design de cava escolhido abrange uma parte do corpo inferior, com teor médio de $0,059 \pm 0,01$ onças troy por tonelada, o total estimado de ouro a ser extraído é de 320637,4 onças troy de ouro.

7.1 Fluxo de caixa

Gerou-se fluxos de caixa para os cenários de compra e locação dos equipamentos de lavra.

7.1.1 Fluxo de caixa para compra de equipamentos de lavra

Tabela 9: Fluxo de caixa para compra de equipamentos de lavra.

	Ano (2-4)	Ano 5	Ano 6
Item	Capital (por ano)	Capital (por ano)	Capital (por ano)
Receita	\$82,588,416.97	\$24,776,525.09	\$0.00
2% Royalties	\$1,651,768.34	\$495,530.50	\$0.00
Lucro bruto	\$80,936,648.63	\$24,280,994.59	\$0.00
Custos operacionais	\$50,511,100.64	\$13,315,165.92	\$7,710,601.12
Lucro líquido operacional	\$30,425,547.99	\$10,965,828.67	-\$7,710,601.12
Depreciação e amortização	\$9,238,766.67	\$0.00	\$0.00
Lucro líquido após depreciação e amortização	\$21,186,781.32	\$10,965,828.67	-\$7,710,601.12
Redução das reservas (Depletion)	\$11,160,699.63	\$3,348,155.83	\$0.00
Lucro antes do IR estadual	\$10,026,081.69	\$7,617,672.83	-\$7,710,601.12
Imposto sobre vendas estadual 7.6% (não há imposto sobre lucro em Nevada)	\$761,982.21	\$578,943.14	\$0.00
Lucro antes do IR federal	\$9,264,099.48	\$7,038,729.70	-\$7,710,601.12
Imposto federal (35%)	\$3,242,434.82	\$2,463,555.39	\$0.00
Lucro líquido após impostos	\$6,021,664.66	\$4,575,174.30	-\$7,710,601.12
Depreciação e amortização	\$9,238,766.67	\$0.00	\$0.00
Redução das reservas (Depletion)	\$11,160,699.63	\$3,348,155.83	\$0.00
Fluxo de caixa operacional	\$26,421,130.96	\$7,923,330.14	-\$7,710,601.12
Despesas com capital	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Fluxo de caixa líquido anual	\$26,421,130.96	\$7,923,330.14	-\$7,710,601.12

7.1.2 Fluxo de caixa para locação de equipamentos de lavra

Tabela 10: Fluxo de caixa para locação de equipamentos de lavra.

	Ano 2-4	ano 5	ano 6
Item	Capital (por ano)	Capital (por ano)	Capital (por ano)
Receita	\$82,588,416.97	\$24,776,525.09	\$0.00
2% Royalties	\$1,651,768.34	\$495,530.50	\$0.00
Lucro bruto	\$80,936,648.63	\$24,280,994.59	\$0.00
Custos operacionais	\$57,778,454.24	\$14,307,465.92	\$8,840,901.12
Lucro líquido operacional	\$23,158,194.39	\$9,973,528.67	-\$8,840,901.12
Depreciação e amortização	\$6,960,433.33	\$0.00	\$0.00
Lucro líquido após depreciação e amortização	\$16,197,761.06	\$9,973,528.67	-\$8,840,901.12
Redução das reservas (Depletion)	\$11,160,699.63	\$3,348,155.83	\$0.00
Lucro antes do IR estadual	\$5,037,061.43	\$6,625,372.83	-\$8,840,901.12

Imposto sobre vendas estadual 7.6% (não há imposto sobre lucro em Nevada)	\$382,816.67	\$503,528.34	\$0.00
Lucro antes do IR federal	\$4,654,244.76	\$6,121,844.50	-\$8,840,901.12
Imposto federal (35%)	\$1,628,985.67	\$2,142,645.57	\$0.00
Lucro líquido após impostos	\$3,025,259.09	\$3,979,198.92	-\$8,840,901.12
Depreciação e amortização	\$6,960,433.33	\$0.00	\$0.00
Redução das reservas (Depletion)	\$11,160,699.63	\$3,348,155.83	\$0.00
Fluxo de caixa operacional	\$21,146,392.06	\$7,327,354.76	-\$8,840,901.12
Despesas com capital	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Fluxo de caixa líquido anual	\$21,146,392.06	\$7,327,354.76	-\$8,840,901.12

7.1.3 Fluxo de caixa ao longo da vida útil da mina

7.1.3.1 Compra de equipamento de lavra

Tabela 11: Fluxo de caixa ao longo da vida útil da mina para compra de equipamento de lavra.

Ano	1	2	3	4	5	6
Fase	Desenvolvimento	Lavra	Lavra	Lavra	Lixiviação/Recuperação	Recuperação
Receita						
	\$0.00	\$82,588,416.97	\$82,588,416.97	\$82,588,416.97	\$24,776,525.09	\$0.00
Custos						
Licenciamento	\$114,225.00					
Instalações	\$16,000,000					
Equipamento	\$13,575,000.00					
Equipamentos variados	\$7,141,300.00					
Custo operacional		\$50,511,100.64	\$50,511,100.64	\$50,511,100.64	\$13,315,165.92	\$7,710,601.12
Royalties		\$1,651,768.34	\$1,651,768.34	\$1,651,768.34	\$495,530.50	\$0.00
Imposto estadual		\$761,982.21	\$761,982.21	\$761,982.21	\$578,943.14	\$0.00
Imposto Federal		\$3,242,434.82	\$3,242,434.82	\$3,242,434.82	\$2,463,555.39	\$0.00
Custo total	\$36,830,525.00	\$56,167,286.01	\$56,167,286.01	\$56,167,286.01	\$16,853,194.95	\$7,710,601.12
Fluxo de caixa	-\$36,830,525.00	\$26,421,130.96	\$26,421,130.96	\$26,421,130.96	\$7,923,330.14	-\$7,710,601.12

Tabela 12: Valor presente líquido calculado com base na tabela 11.

Lucro total	\$42,645,596.91
VPL (15%)	\$21,036,107.01
VPL (10%)	\$26,817,255.99

7.1.3.2 Locação de equipamento de lavra

Tabela 13: Fluxo de caixa ao longo da vida útil da mina para locação de equipamento de lavra.

Ano	1	2	3	4	5	6
Fase	Desenvolvimento	Lavra	Lavra	Lavra	Lixiviação/Recuperação	Recuperação
Receita						
	\$0.00	\$82,588,416.97	\$82,588,416.97	\$82,588,416.97	\$24,776,525.09	\$0.00
Custos						
Licenciamento	\$114,225.00					
Instalações	\$15,000,000.00					
Equipamento	\$740,000.00					
Equipamentos variados	\$7,141,300.00					
Custo operacional		\$57,778,454.24	\$57,778,454.24	\$57,778,454.24	\$14,307,465.92	\$8,840,901.12
Royalties		\$1,651,768.34	\$1,651,768.34	\$1,651,768.34	\$495,530.50	\$0.00
Imposto estadual		\$382,816.67	\$382,816.67	\$382,816.67	\$503,528.34	\$0.00
Imposto Federal		\$1,628,985.67	\$1,628,985.67	\$1,628,985.67	\$2,142,645.57	\$0.00
Custo total	\$22,995,525.00	\$61,442,024.91	\$61,442,024.91	\$61,442,024.91	\$17,449,170.33	\$8,840,901.12
Fluxo de caixa	\$22,995,525.00	\$21,146,392.06	\$21,146,392.06	\$21,146,392.06	\$7,327,354.76	-\$8,840,901.12

Tabela 14: Valor presente líquido calculado com base na tabela 13.

Lucro total	\$38,930,104.81
VPL (15%)	\$21,809,040.86
VPL (10%)	\$26,461,454.60

7.2 Análise de sensibilidade

Por fim, foi calculado o valor presente líquido, para compra e locação, considerando o preço do ouro a \$900 por onça troy para avaliar a sensibilidade deste a uma variação no preço do ouro (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15: Valor presente líquido para compra de equipamento de lavra e ouro a \$900 por onça troy.

Lucro total	\$27,582,283.98
VPL (15%)	\$11,527,368.62
VPL (10%)	\$15,836,560.01

Tabela 16: Valor presente líquido para locação de equipamento de lavra e ouro a \$900 por onça troy.

Lucro total	\$16,888,947.80
VPL (15%)	\$7,474,573.84
VPL (10%)	\$10,066,815.15

8. Processamento

Testes metalúrgico e mineral foram realizados pela empresa Knappes, Cassidy & Associates (KCA) em Reno, Nevada. A empresa realizou testes de coluna em tamanhos variados de minério britado (Figura 25). Resultados iniciais mostraram resultados positivos para concentração por lixiviação a $\frac{3}{4}$ de polegada. Este tamanho poderia ser atingido com um sistema de três estágios de britagem, usando um britador de mandíbulas e dois cônicos (figura 26).



Figura 25: colunas utilizadas nos testes de processamento.

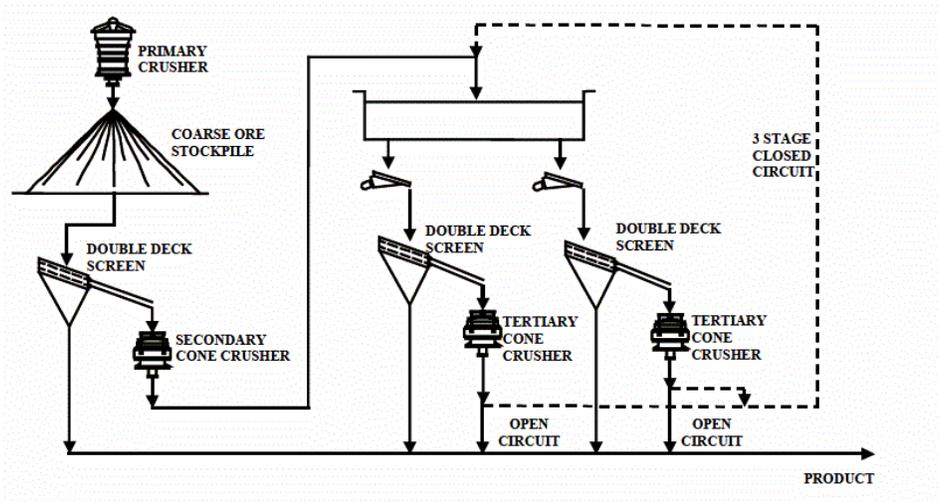


Figura 26: Circuito de britagem típico de minas de ouro da região.

9. Análise SWOT (F.O.F.A.)

Foi realizado uma análise SWOT para se analisar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do empreendimento (Tabela 17).

Tabela 17: Análise SWOT.

Forças	Fraquezas	Oportunidades	Ameaças
Região favorável a mineração	Corpo de minério pequeno	Expansão do corpo de minério	Redução do preço do ouro
Corpo de minério acessível	Infraestrutura local	Novos alvos	Licenciamento
Estado favorável a mineração	Localização/ mão-de-obra	Aumento do preço do ouro	Água
Terreno particular	Taxa de produção		



Figura 28: possível layout para o empreendimento.

Furos de sondagem adicionais são necessários para confirmar o tamanho e teor da zona mineralizada do corpo de minério. Além disso, estudos geofísicos poderiam ser realizados na área para identificar outras áreas mineralizadas, podendo assim, expandir o projeto. Um maior conhecimento do corpo mineral inferior é necessário para se ter uma maior certeza da viabilidade econômica de explorá-lo.

No geral, a análise econômica inicial feita neste projeto mostra que o projeto deveria seguir em frente. Porém, o estudo mostra que a viabilidade econômica é bastante sensível ao preço do ouro, como mostrado no cenário do preço a \$900 por onça troy. Baseado no estudo econômico, a uma taxa de desconto de 15% seria indicado a locação dos equipamentos de lavra, já quando esta taxa é 10%, seria indicado a compra destes equipamentos. Então acredita-se que a melhor opção seria fazer a locação dos equipamentos de lavra pois os equipamentos usados poderiam causar maiores custos de manutenção em relação aos equipamentos novos não considerados no estudo. Um aumento na produção diária reduziria os custos de perfuração e desmonte, operação e lixiviação, porém equipamentos de maior porte seriam necessários e incorreriam em um aumento do custo, então seria necessário um estudo mais detalhado do impacto nos custos totais.

11. Referências

Askari-Nasab, H., **Open Pit Long Term Mine Planning Stages**, 2010.

Candido M., **Impacto de Diferentes Algoritmos e Geometria de Depósitos Mineraiis no Planejamento de Longo Prazo**. 2012.

Dagdelen, K., **Open Pit Optimization – Strategies for Improving Economics of Mining Projects Through Mine Planning**, 17^o International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 2001, pp 117 – 121.

Darling, P., **Society for Mining, Metallurgy, and Exploration**. SME Mining Engineering Handbook. 2011. 3rd ed. Vol. 1.

Gholamnejad, J. e Osanloo, M., **Incorporaton of Ore Grade Uncertainty into the Push Back Design Process**, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2007, Vol. 107, pp. 177 – 185.

Hartman H. L. and Mutmansky J. M., **Introductory Mining Engineering**, 2002. 2nd ed.

Lopes, M., **Mineração no Brasil Atual e sua Influência na Economia Nacional**, disponível em: <http://tecnicoemineracao.com.br/mineracao-brasil-atual-e-sua-influencia-na-economia-nacional>, acesso em: maio de 2017.

Meagher et. al., **A New Approach to Constrained Open Pit Pushback Design Using Dynamic Cut-Off Grades**, Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, No. 4, pp. 733 – 744.

Oliveira, B., **Avaliação Geométrica do Ângulo de Talude na Delineação da Cava Final- Estudo de Caso: Mina F4, Vale Fertilizantes**. 2016.

Pandey, S., **Orebody Modelling-Concepts and Techniques**, notas de aula, disponível em, https://www.academia.edu/9018457/Ore_Body_Modelling_Concepts_and_Techniques, acesso em novembro, 2016.

Peroni et. al., **Análise da Variabilidade de Teores e sua Incorporação no Planejamento de Lavra**. Rev. Esc. Minas, vol. 65, no 2. 2012.

Rocha, A. C. P., **Avaliação do material estéril de formação ferrífera em mineração para disposição seletiva e reaproveitamento futuro**, UFOP, 2015.

Whittle, J., **Long-Term Scheduling**, 35thApcom Symposium, 2011, pp. 75 – 80.

US metal & Industrial mineral mine salaries, wages & benefits, 2012 by InfoMine USA Inc. Disponível em: www.infomine.com, acesso em: novembro, 2016.