

**FABRÍCIO ARAGAKI**

**ESTUDO PARA O CÁLCULO DE TEOR DE CORTE**

**APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO**

**São Paulo  
2007**

**FABRÍCIO ARAGAKI**

# **ESTUDO PARA O CÁLCULO DE TEOR DE CORTE**

## **APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas  
do curso de graduação do Departamento de  
Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador:

Prof. Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi

**São Paulo  
2007**

EPMI  
TF-2007  
Ar 12 e  
Sjano 1667810

M20073

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700006125

**FICHA CATALOGRÁFICA**

**Aragaki, Fabricio**

**Estudo para cálculo de teor de corte – Aplicação no planejamento de curto prazo / F. Aragaki. –**

**São**

**Paulo, 2007.**

**p. 28**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.**

**1.Mineração de minerais não ferrosos (Aproveitamento; Otimização) 2. Empreendimentos mineiros 3. Planejamento estratégico I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Giorgio de Tomi, pelas idéias e incentivo que me foram passados, com objetividade, segurança e bom humor sempre, ajudando a esclarecer dúvidas e enxergar com clareza os objetivos.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo desta Escola, por sua contribuição imensurável ao desenvolvimento pessoal e profissional de todos os alunos.

Ao Prof. Dr. Ricardo Cabral de Azevedo, à Camila, ao Fábio e ao Klaus por terem me auxiliado na finalização deste trabalho.

A todos os funcionários do Departamento, que direta ou indiretamente ajudaram na execução dos projetos exigidos ao longo do curso.

A todos os meus amigos que fiz no Departamento, em especial no PET, pelas incontáveis momentos de diversão, bate-papo e estudos em grupo.

Aos meus amigos da Datamine, Petrus e VM, pela forma que me ajudaram a adquirir conhecimento *in loco* na área de mineração.

A minha família por sempre estarem lá, fonte inesgotável de confiança em mim e ajuda nos momentos difíceis.

A todos que, de alguma forma, me ajudaram a fazer este trabalho.

A Deus, que sempre está lá e que me ampara nos momentos difíceis da minha vida.

## RESUMO

Os teores de corte são a chave econômica determinante para governar a estratégia de desenvolvimento de uma mina. Principalmente para minerações que lidam com teores de minerais muito baixos, uma variação, mesmo que pequena, no teor de corte pode implicar na perda de muito das suas reservas para o depósito de estéril, implicando em perdas financeiras para a companhia. Como o objetivo de uma companhia de mineração é principalmente maximizar o seu valor presente líquido, a aplicação de uma metodologia confiável para o cálculo do teor de corte ao longo da vida da mina é interessante. Com base nisto, esse trabalho procura, inicialmente, estabelecer uma visão abrangente do contexto do teor de corte na mineração para, após expor o seu modelo de cálculo e o comportamento relacionado às variáveis utilizadas, definindo uma metodologia básica adequada para a definição de um programa de teor de corte. Por fim, foi feito um estudo de caso aplicando o conceito de teor de corte em questão.

**Palavras-chave:** teor de corte, planejamento estratégico, NPV, mineração, modelo econômico.

## ABSTRACT

The cutoff grades are the determining economic key to lead the development strategy of a mine. Mainly to mining facilities that work with very low mineral rates, a variation, even a small one, in the cutoff grade can imply on a significant loss of the ore reserves to the disposal pile, implying in financial loss to the mining company. As the main objective of a mining company is maximizing it's net present value, the application of a reliable methodology for the calculation of the cutoff grade along the operating life of the mine is convenient. Based on this, this work looks forward, initially, to establish a wide view of the context of the cutoff grade on a mining facility to, after exposing it's calculus basis and the behaviour related to the used variables, define a basic methodology for the definition of a cutoff grade program. Finally, a case study was done applying the concept of cutoff grade in matter.

**Keywords:** cut-off grade, strategic planning, NPV, mining, economic model.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Modelo Econômico

	<b>Alimentação</b>	<b>Custos variáveis</b> (por unidade de alimentação)	<b>Capacidade</b> (alimentação/ano)
<b>Lavra</b>	Material mineralizado	m	M
<b>Tratamento</b>	Minério	h	H
<b>Mercado</b>	Mineral	k	K

F: Custos fixos por ano;

P: Preço por unidade de material;

G: Teor de corte (mineral/unidade de minério);

G: Teor de corte ótimo (mineral/unidade de minério);

Ĝ: Teor médio (mineral/unidade de minério);

X: Relação minério/material;

y(100 y%): Recuperação metalúrgica;

q: Quantidades;

NPV/VPL: Net Present Value/ Valor Presente Líquido;

LAIR: Lucro ausente imposto de renda;

REM: Relação estéril minério;

TIR: Taxa interna de retorno.

## SUMÁRIO

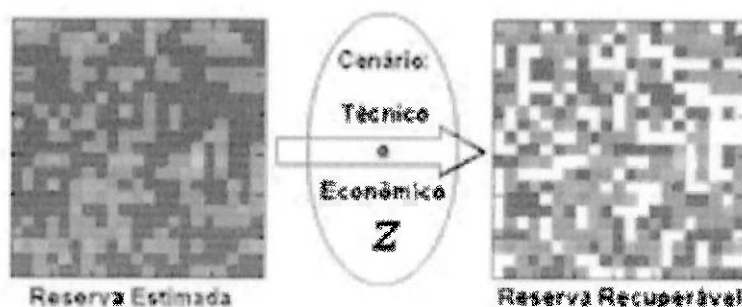
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1. Definição de teor de corte .....	3
3.2. Conceitos e definições para o teor de corte.....	3
3.2.1. Teor de corte fixo e variável.....	4
3.2.2. Teor de corte econômico e tecnológico.....	4
3.2.3. Outras definições relacionadas ao teor de corte .....	4
3.2.4. Conceitos econômicos fundamentais .....	5
3.2.4.1. Custos Fixos e Custos Variáveis.....	5
3.2.4.2. Custos de Oportunidade .....	7
3.2.4.3. OPEX e CAPEX .....	7
3.3. Contextualização do problema .....	7
3.4. Modelo para cálculo do teor de corte.....	9
3.5. Modelo de teor de corte segundo Lane .....	9
3.5.1. Limitação da lavra.....	10
3.5.2. Limitação do Tratamento .....	11
3.5.3. Limitação de Mercado.....	12
3.6. Múltiplos Minerais.....	13
3.7. Análise do comportamento do teor de corte.....	14
3.7.1. Nível do teor de corte.....	14
3.7.2. Teor de corte versus Custos.....	14
3.7.3. Teor de corte versus Tempo .....	14
3.7.4. Teor de corte versus Preços/Recuperações metalúrgicas .....	15
3.7.5. Teor de corte associado ao NPV .....	15
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>17</b>
4.1. A mina.....	18
4.2. Condução das atividades do projeto .....	18
4.3. Os parâmetros envolvidos .....	19
<b>5. COMENTÁRIOS FINAIS .....</b>	<b>21</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>22</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>23</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A distribuição de teores nunca é perfeitamente uniforme dentro um depósito mineral. Áreas de concentração de mineral de alto teor são freqüentemente encontradas junto com áreas de concentração do mineral de baixo teor, e isto vale comumente para muitos depósitos minerais. Vistas estas condições, algumas formas de mineração seletiva são usualmente praticadas a fim de separar o que se deve lavar, o minério, do que não se deve lavar, o estéril. Para isto, determinar o teor de corte para a lavra é essencial.

A Figura 1 ilustra a relação entre reserva estimada e reserva recuperável (ou lavrável), perante um único cenário técnico e econômico determinado pelo teor de corte.



**Figura 1 – Conversão da reserva estimada em recuperável, Júnior (2001)**

Também o tema do presente trabalho é interessante para as companhias de mineração pelo fato de abordar algo que influi no Valor Presente do empreendimento e que depende diretamente dos preços dos metais envolvidos. Assim, pelos preços elevados praticados no mercado de metais atualmente, não seria interessante rever o teor de corte praticado em uma mina em operação, garantindo talvez uma maior rentabilidade para o empreendimento? Talvez até aumentando as reservas lavráveis deste? Estas e outras perguntas associadas ao tema é que tentarão ser respondidas neste trabalho.

Kenneth Lane (1988) diz em seu livro que, quando iniciou suas pesquisas relativas ao teor de corte em vários empreendimentos mineiros nos quais teve a oportunidade de trabalhar como consultor, ele fazia a seguinte pergunta, que lhe parecia óbvia: “Por que trabalhar com este valor particular de teor de corte em vez de usar qualquer outro valor?”

Ao contrário do que acreditava, não houve uma resposta padrão e sim uma série de respostas, como:

- “Nós sempre trabalhamos com teores entre 0 e 3%”;
- “O escritório central decidiu a alguns anos atrás que seria 5% e assim é”;
- “É uma questão técnica, deixamos a cargo dos especialistas”;
- “Parece que vários teores de corte foram analisados no estudo de viabilidade e esta parecia o melhor”;
- “Como nossos custos são da ordem de US\$ 10 a tonelada e o metal é vendido em média por US\$ 10 a libra, um teor de corte de 1 libra/ tonelada não deve estar errado”.

Embora desde a contribuição para o setor mineral de Lane e outros pesquisadores as companhias tenham se preocupado mais no cálculo do teor de corte de suas propriedades mineiras, não seria raro ouvir alguma destas respostas hoje se fôssemos indagar a respeito do teor de corte como fez Lane.

Assim, Lane utilizando sua experiência de quase 20 anos como consultor e alguns outros artigos sobre o assunto, organizou e formulou alguns princípios-chave para o cálculo do teor de corte. É utilizando principalmente seu livro como referência que procuramos aqui aplicar não somente as fórmulas, mas também uma metodologia para o cálculo do teor de corte em um empreendimento mineiro.

## 2. OBJETIVOS

Mesmo não sendo o objetivo deste trabalho, o objetivo final do projeto no qual o trabalho está incluído, é propor uma metodologia cíclica que, aplicada ano a ano, reveja e atualize o teor de corte e garanta, assim, a maximização de geração de riquezas para uma companhia de mineração para o qual o teor de corte aplicado é fixo. O trabalho também se propõe a fazer uma estimativa dos teores de corte futuros, com base nas previsões dos seus parâmetros, dando a conhecer os níveis de incerteza envolvidos em cada uma das escolhas de teor de corte realizadas pelo gerenciamento.

Para garantir alcançar este objetivo final, o projeto foi dividido em três etapas:

- Etapa 1: Estudo para o cálculo do teor de corte ano a ano e definição das principais variáveis envolvidas neste processo;
- Etapa 2: Aplicação de análise de risco associada à estimativa de teor de corte e proposta de uma metodologia;
- Etapa 3: Aplicação da metodologia e avaliação dos resultados.

Este presente trabalho representa, portanto, a primeira etapa do projeto de teor de corte, aplicada inicialmente em minas de metais de base (Ex: chumbo, níquel e zinco) e, tem por objetivos definir os seguintes aspectos:

- O teor de corte e sua importância;
- A contextualização da problemática que envolve o assunto;
- Os principais conceitos envolvidos no teor de corte;
- As fórmulas aplicadas no seu cálculo;
- Os principais métodos de cálculo de teor de corte existentes;
- O(s) melhor(es) método(s) para aplicação no planejamento de curto prazo;
- O comportamento do teor de corte frente às variações de seus principais parâmetros;
- A continuidade do trabalho nas próximas etapas;
- Estudo de caso em uma mina real.

Portanto, é feita inicialmente uma revisão a respeito do teor de corte, abordando definições, conceitos, sua importância e o seu contexto na indústria mineral. Com isso, é feita também uma análise das fórmulas aplicadas no cálculo do teor de corte segundo a bibliografia consultada.

Com as fórmulas de teor de corte vistas, passamos a estudar uma metodologia para garantir a aplicação do cálculo do teor de corte. Quais seriam as fases envolvidas, seus objetivos e funções, a serem implantados no contexto atual. A proposta da metodologia foi baseada no desenvolvimento do presente trabalho onde foi encontrada uma série de dificuldades, mas para qual foram tomadas, ou senão propostas, as devidas soluções.

Após isto, o comportamento do teor de corte é visto mais detalhadamente, analisando e listando os principais parâmetros no seu cálculo e no que cada um influencia no valor do teor de corte.

Ao final, são apresentados alguns comentários do trabalho, baseados nas análises prévias, e algumas sugestões, buscando a continuidade do trabalho nas próximas etapas do projeto. É apresentado também um estudo de caso, também baseado nos dados do trabalho, a fim de visualizar melhor a problemática e a aplicação da metodologia em uma mina real.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Definição de teor de corte

Taylor (1975) definiu teor de corte como: "qualquer teor que, por alguma razão específica, é utilizado para separar dois cursos de ação", ou seja, o teor acima do qual executamos uma ação e abaixo do qual executamos outra. Por exemplo: o material será enviado para a planta ou para o depósito de estéril, ou ainda, o material será enviado para a planta ou para a pilha de lixiviação. Somente aquele material com um teor acima do teor de corte é lavrado como minério, e a seleção é usualmente feita por "blocos de minério" ou "parcelas" que são corpos grandes o suficiente para serem integralmente selecionados ou rejeitados pelo sistema da mina. Cada bloco ou parcela tem uma série de atributos, conforme a figura 2 mostra, que serão utilizados para sua definição como minério ou estéril. O tamanho do bloco ou da parcela de minério é determinado durante o estudo de estimativa da reserva, e conta com a natureza de mineralização, e a densidade de amostras.



Figura 2 – Bloco de minério com atributos para sua classificação

#### 3.2. Conceitos e definições para o teor de corte

A seguir, serão apresentados alguns conceitos e definições que serão úteis para a compreensão do trabalho.

### 3.2.1. Teor de corte fixo e variável

Segundo Mol e Gillies (1984), dentre os vários estudos sobre a teoria do teor de corte, podemos destacar que estes se enquadram dentro de duas categorias básicas:

- O teor de corte fixo, que assume um teor de corte estático ao longo da vida de uma mina;
- O teor de corte variável, que assume um teor de corte dinâmico, a fim de maximizar, assim, o valor presente da mina.

Dentre os vários estudiosos no assunto, podemos citar: Callaway (1958), Vickers (1961), Carlsons ET AL. (1966), Erickson (1968), Halls, Bellum e Lewis (1969), Soderberg e Rausch (1968), Piewman (1970), Douglass (1971) e Nillson (1982), adeptos do teor de corte fixo, Henning (1963), Lane (1964, 1979), Johnson (1969), Noren (1969), Blackwell (1971), Taylor (1972), Roman (1973), Elbrond e Dowd (1976), Wells (1978) e Rudenno (1979), favoráveis ao conceito de teor de corte variável.

Contudo, segundo Mol e Gillies (1984), essas aproximações não são diretamente aplicáveis, por exemplo, para minas de ferro de depósitos de altos teores, onde os teores de minério despachados pela mina são fixos e definidos pelas especificações do contrato de venda. Portanto, a definição usual de teor de corte para minérios de ferro é diferente. Para esses, Royle (1981) apud Mol e Gillies (1984) definiu o "economicamente ótimo" como: as "reservas de tonelagem máxima de minério com um teor médio acima um teor de corte dado."

Para o presente trabalho, será estudado mais profundamente o teor de corte definido por Lane em seus estudos, ou seja, o teor de corte variável a ser aplicado para os metais de base (zinco, cobre, níquel, alumínio, etc.).

### 3.2.2. Teor de corte econômico e tecnológico

Para o presente trabalho, utilizamos a divisão do teor de corte em dois tipos:

- Teor de corte tecnológico: teor que depende das características da planta de processamento e de outras variáveis associadas às características do minério, como: granulometria, mineralogia, associações e propriedades físicas (densidade, magnetismo, dureza, etc.);
- Teor de corte econômico: teor que depende da relação entre preço, OPEX, CAPEX, tributos, taxa de câmbio, etc.;

### 3.2.3. Outras definições relacionadas ao teor de corte

Segundo Taylor (1985):

- Teor de balanço (Balancing grade) - é qualquer teor que, quando utilizado como um teor de corte, igualará as necessidades de tonelagem de minério ou metal contido dos diferentes estágios de um empreendimento mineiro;
- Teor de equilíbrio (Breakeven grade) - é aquele teor que iguala exatamente as vendas efetuadas com os custos especificados;
- Minério (Ore) - conforme o uso do dia-a-dia em atividades de mineração - é o agregado de um ou mais minerais de atual ou potencial interesse econômico; conforme

os propósitos deste trabalho - é qualquer mineral que lavrado e tratado adiciona valor ou reduz perdas para o fluxo de caixa ou reduz perdas deste, independente da lucratividade global da mina, ainda que definida;

- Parcela (Parcel) - é um corpo de material lavrável ou tratável que é suficientemente grande para ser selecionado ou rejeitado em sua totalidade pela mineração ou sistema de seleção vigente;
- Lucro (Profit) - Visto que o termo é utilizado aqui para tudo - implica não mais que um excedente simples da renda de operação relativo ao custo identificado de operação incorrido para qualquer um dos casos: aquele em que se considera a mina globalmente, ou aquele que considera somente uma parte dela;
- Pilhas de estocagem (Stockpiles) - são o acúmulo de sub-teores ou minérios diferentes metalurgicamente que, embora raramente sejam planejados do modo formal, são mantidos para eventuais correções de teor futuras ou mesmo para seu tratamento futuro. Pilhas de estocagem ativas também são usadas principalmente na blendagem do minério, mas estas estão fora do contexto deste trabalho.

### **3.2.4. Conceitos econômicos fundamentais**

Todo negócio necessita saber quais os custos para produzir seus produtos a fim de fazer decisões de negócios sensatas e um empreendimento mineiro não foge à regra. Há uma variedade de caminhos para apresentar e aplicar custos, e alguns conceitos de custos são mais apropriados para certos problemas que outros. Esta seção introduzirá alguns dos conceitos de custo mais importantes, utilizados neste presente trabalho, o que inclui:

- Custos fixos;
- Custos variáveis;
- Custos de oportunidade;
- Custos de operação - OPEX;
- Custos de Capital - CAPEX.

#### **3.2.4.1. Custos Fixos e Custos Variáveis**

Em qualquer tipo de empreendimento há custos que não variam com a saída (produto), assim como custos que variam. Um custo fixo é um custo que não varia com o nível de saída. Pagamentos anuais para manter um arrendamento mineiro (assumindo que os pagamentos são independentes da produção) são um exemplo de custo fixo. O custo de construção de uma linha de alta-voltagem para fornecer energia para uma mina é outro custo fixo.

Já custos variáveis são custos que mudam com o nível de saída. Tipicamente, se a saída aumenta, assim serão também: as necessidades de trabalho, combustível, eletricidade e material. Os custos variáveis também englobam os salários dos funcionários. E, quando uma firma deseja saber o que deve pagar para obter determinado nível de saída, são eles que são avaliados.

Se um custo é fixo ou variável depende também da forma de tempo de decisão. Para um orçamento anual, custos de trabalho são um custo variável porque a necessidade de trabalho pode ser aumentada ou diminuída proporcionalmente com as necessidades anuais de produção. Entretanto, para as decisões do dia-a-dia de um supervisor de mina, custos de trabalho podem ser considerados fixos. Se um motorista de caminhão tem trabalho a fazer e não há caminhão disponível, este custo de trabalho não pode ser evitado.

Para um melhor entendimento da separação entre os custos fixos e variáveis, nos vários setores do empreendimento mineiro (mina, usina, serviços auxiliares, etc.) os seguintes comentários são válidos:

- Os custos fixos são controlados geralmente pelos níveis hierárquicos mais elevados da empresa, enquanto os variáveis estão sob o controle do setor que os realiza;
- Os custos fixos estão ligados às decisões administrativas; os variáveis, embora influenciados por tais decisões, estão mais relacionados à produção;
- Os custos fixos estão relacionados ao período de sua apropriação (mês, ano, etc.), enquanto os variáveis à unidade produzida (t, kg, etc.);
- Quando a função custo total tem comportamento linear ou dele se aproxima, os custos fixos médios (ou seja, por unidade produzida) são variáveis e os custos variáveis médios tendem a ser fixos.

Com base no exposto, Souza (2001) sugeriu a seguinte decomposição para os principais componentes do custo total envolvidos em uma mina:

- a) Material: seja ele incorporado à produção ou não, é essencialmente um custo variável;
- b) Peças de reposição: o consumo de peças de reposição depende do regime de trabalho da máquina que, se estiver relacionada à produção, caracteriza um custo variável;
- c) Material de escritório, impressos, alugueis e material de limpeza: são considerados custos fixos;
- d) Mão-de-obra direta: mão-de-obra cujo tempo de ocupação pode ser identificado com a produção. Ela depende da estrutura da produção. A mão-de-obra fixa é um custo fixo, já a mão-de-obra variável, utilizada para atender sazonalidades ou oscilações de mercado, é um custo essencialmente variável;
- e) Mão-de-obra indireta: Mão-de-obra considerada à parte da produção (gerentes, supervisores, vigias, bonificações, etc.), em geral é um custo fixo. Quando funcionários recebem prêmios de produção, tais custos são variáveis.
- f) Energia elétrica: a demanda de potência (kW) é um custo fixo e o consumo (kWh) é um custo variável.
- g) Seguros: do ativo imobilizado (edifícios, máquinas) são custos fixos; dos estoques (quando dimensionados em função da escala de produção) são variáveis;
- h) Impostos e taxas: fixos quando incidem sobre a propriedade e variáveis quando incidem sobre a produção;
- i) Manutenção: é um custo que cresce, não necessariamente de forma proporcional, com o aumento da produção. Quando for muito alto, tais custos devem ser analisados em separado. O custo de manutenção de imóveis é essencialmente fixo. O empreendimento pode dispor de oficina, seção ou mesmo departamento dedicado à manutenção, como uma função de serviço centralizada dentro da organização, podendo também optar pela terceirização dos serviços através de contratos de manutenção.
- j) Despesas de administração: exceto os prêmios de produção, são custos fixos;
- k) Despesas de vendas: na forma de ordenados, são custos fixos; e, na forma de comissões, variáveis;
- l) Despesas financeiras: juros de longo prazo, oriundos do financiamento do investimento do empreendimento, são custos fixos; e, juros de curto prazo, para financiamento do capital de giro, são variáveis. (Runge, 1998)

Nem sempre esta decomposição é seguida quando se faz as divisões de custos. Em algumas minas, por exemplo, as tributações são tratadas à parte, assim como outros custos, e alguns custos variáveis vinculados diretamente ao processo são tratados como despesas operacionais, como o serviço de terceiros.

#### **3.2.4.2. Custos de Oportunidade**

O custo de oportunidade representa o valor associado à melhor alternativa não escolhida. Ao se tomar determinada escolha, deixa-se de lado as possibilidades alternativas. À alternativa escolhida, associa-se como "custo de oportunidade" o maior benefício não obtido das possibilidades não escolhidas, isto é, "a escolha de determinada opção impede o usufruto dos benefícios que as outras opções poderiam proporcionar". O mais alto valor (maior renda perdida) associado aos benefícios não escolhidos pode ser entendido como um custo da opção escolhida, custo chamado de "custo de oportunidade".

Por exemplo, uma companhia de mineração decide investir em uma mina ao invés de vendê-la por US\$ 15 milhões. Logo, a oportunidade de negócio, investir em uma mina, demandou um custo de oportunidade, que está no valor perdido da venda desta mina, US\$ 15 milhões.

#### **3.2.4.3. OPEX e CAPEX**

OPEX (Operational Expenditure) é o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis. As despesas operacionais são os preços contínuos para dirigir um produto, o negócio, ou o sistema. Já o CAPEX (Capital Expenditure) é as despesas de capital que se referem ao preço de desenvolvimento ou fornecimento de partes não-consumíveis do produto ou sistema. Por exemplo, a compra de uma carregadora é o CAPEX, e o preço de manutenção e combustível é o OPEX.

### **3.3. Contextualização do problema**

Em um estudo de viabilidade econômica de um empreendimento mineiro é importante determinar um plano estratégico que atenda as metas financeiras da companhia e maximize os lucros totais, para tal, os teores de corte são variáveis essenciais ao lado do custo de produção, da reserva mineral e do porte da mina, conforme indicado na figura 3. Na verdade, todas estas variáveis estão interligadas, pois cada uma delas depende da outra, em maior ou menor grau, para ser determinada.



**Figura 3 – Variáveis essenciais para o estudo de viabilidade do empreendimento mineiro**

Mas a aplicação do teor de corte não deve se resumir somente ao estudo de viabilidade econômica para a implantação de uma mina. Em muitos casos, é necessário atualizar os teores de corte ao longo da vida da mina, visto que ele não é um valor rígido, envolve ou pode envolver variáveis intrínsecas do minério (texturas, granulometria, espessuras, etc.) e extrínsecas (técnicas de beneficiamento, custo e disponibilidade de energia, localização e custo de frete, valor atual do metal no mercado, políticas de incentivo, etc.). A própria alteração do teor de corte, face às novas variáveis, pode modificar a própria economicidade e até a viabilidade de uma jazida ao aumentar ou diminuir as reservas explotáveis. Já foi demonstrado por uma série de autores que um programa para maximizar o valor presente requer um teor de corte decrescente, o que será visto mais adiante. Para o caso de depósitos de metais de base, o teor de alimentação da usina pode ser ajustado, mas dentro de certo intervalo, segundo as características do corpo mineralizado e a estratégia econômica do empreendimento.

Variações no teor de corte, ainda que pequenas, podem implicar em grandes volumes de minérios, deixados na mina ou enviados para depósitos de estéril, erradamente classificados como estéril ou, ainda, implicar em grandes volumes de estéril alimentando as usinas de beneficiamento, erradamente classificados como minério. Assim, deve-se fazer uma escolha adequada dos teores de corte econômico e tecnológico, que depende de considerações de natureza econômica, tributária, cambial, mercadológica, geológica, tecnológica (transporte e usina), etc.

Para a maximização do aproveitamento dos recursos e geração de riqueza, estes dois teores devem ser “compatíveis”. Se o teor tecnológico for superior ao teor econômico implica que minério (do ponto de vista do teor econômico) é deixado na mina, ou seja, podemos lavar, mas não há tecnologia disponível para beneficiar o minério correspondente ao teor econômico. Por outro lado, se o teor tecnológico for inferior ao teor econômico também implica em deixar minério (do ponto de vista do teor tecnológico) na mina, pois há tecnologia para beneficiar o minério de baixo teor, mas atualmente, os custos envolvidos não justificam o aproveitamento deste minério. Assim, se estes dois teores não forem dimensionados de forma adequada, minério poderá ser deixado na mina e isto implica em perdas financeiras para a companhia.



A visão tradicional de que o aumento do preço do produto ou redução do OPEX implica em reduzir o teor de corte econômico nem sempre é verdade. Isto somente ocorre se a capacidade de produção da usina e a demanda forem ilimitados, o que não é o caso.

### 3.4. Modelo para cálculo do teor de corte

Um modelo simplificado para o cálculo do teor de corte é:

$$\text{Teor de corte} = \frac{\text{Custo de produção}}{\text{Preço do produto} \times \text{Recuperação}}$$

Onde o custo de produção se refere ao OPEX. Este modelo é bastante utilizado, mas possui a limitação de ignorar o custo de capital. Pode ser representado graficamente por:

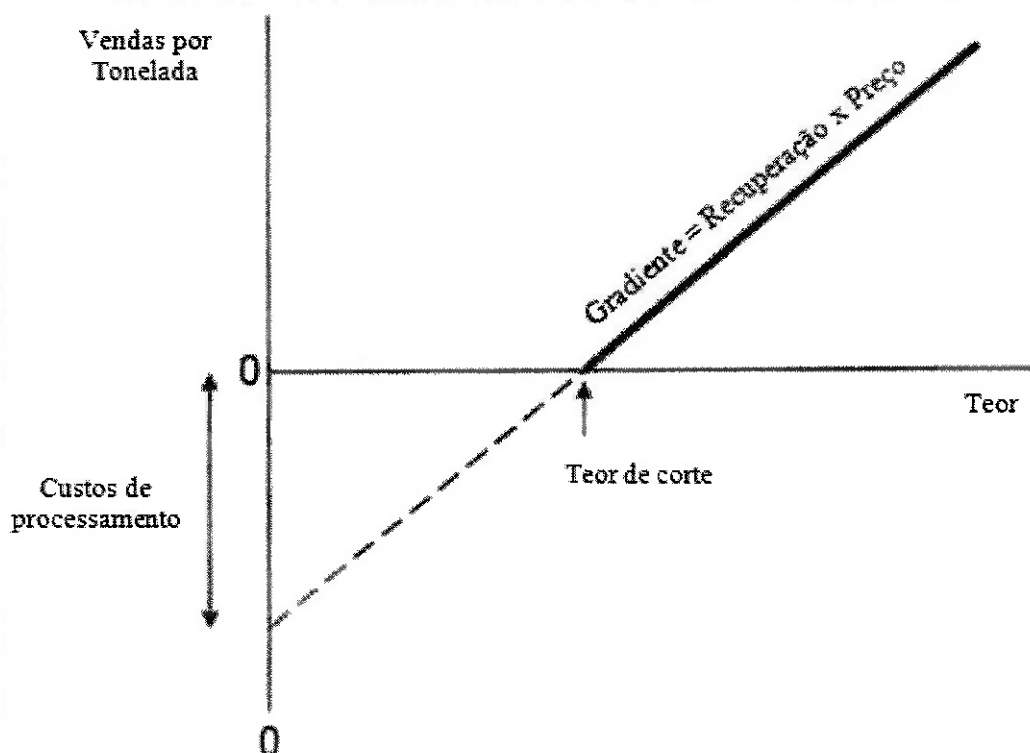


Figura 4 – Gráfico do modelo simplificado de teor de corte (Cardoso, 2007)

### 3.5. Modelo de teor de corte segundo Lane

Lane (1988) determinou as expressões que determinam os teores de corte ótimos derivando e, após isto, combinando outras duas expressões, apresentadas a seguir:

- a) Expressão para estratégia de exploração ótima a fim de maximizar o valor presente de uma operação baseada em um recurso finito:

$$c - \tau \left( \delta V^* - \frac{dV^*}{dT} \right) = c - F\tau \dots (I)$$

onde  $c$  é o acréscimo no fluxo de caixa de uma unidade decrementar do recurso,  $\theta\theta$  é o tempo considerado para processar a unidade e  $V^*$  é o máximo valor presente para o período.

b) Expressão relacionando os fluxos de caixa com o teor de corte de uma mina:

$$c = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - f\tau \dots (II)$$

onde  $\theta\theta$  é o tempo considerado para trabalhar completamente uma unidade de material mineralizado.  $\theta\theta$  depende de qual dos três componentes de operação da mina está realmente limitando a operação. Quais são estes três componentes, será conhecido mais adiante.

Derivando e combinando as expressões apresentadas, obtém-se uma expressão para determinar o teor de corte ótimo. Ela é:

$$Max_g \left\{ (p - k)xy\bar{g} - xh - f\tau - \tau \left( \delta V^* - \frac{dV^*}{dT} \right) \right\}$$

ou

$$Max_g \{ (p - k)xy\bar{g} - xh - m - (f + F)\tau \}$$

A fim de simplificar referências mais a frente, chamaremos a expressão entre colchetes de  $v$ , isto é:

$$v = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - (f + F)\tau \dots (III)$$

Isto corresponde a  $dV^*/dR$ , a taxa em que o valor presente muda relativa às mudanças em  $R$ , o recurso disponível.

Na expressão,  $x$ , a relação de minério por material mineralizado, e  $\bar{g}$  o teor médio, são diretamente dependentes do teor de corte  $g$ . O tempo  $\theta\theta$ , é também dependente de  $g$ , mas indiretamente, e os três casos devem ser estudados de acordo com a capacidade que está limitando a saída. Os três casos originam três teores de corte ótimos que são chamados teores de corte econômicos.

### 3.5.1. Limitação da lavra

Quando a taxa de lavra (O/P) ou a taxa de desenvolvimento (U/G) como limitante, a capacidade correspondente da mina fica sendo  $M$  unidades por ano, assim o tempo para trabalhar uma unidade é  $1/M$ . Então a expressão III fica:

$$Max_g \{ v_m = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - (f + F)M \}$$

Somente os termos  $(p - k)xy\bar{g} - xh$  variam com  $g$ , assim como  $g_m$ ; o teor de corte ótimo com a limitação da mina, é dado por:

$$Max_g \{ x[(p - k)y\bar{g} - h] \}$$

Aqui  $\bar{g}$  e  $x$  podem ser representados por integrais da função de distribuição de teores e o máximo determinado por cálculo. Entretanto, é possível de se ver, por causa da forma da

expressão  $x[(p - k)y\bar{g} - h]$ , que  $g$  pode ser reduzido contando que  $(p - k)y\bar{g}$  é maior que  $h$ . Assim, o ponto de equilíbrio é dado por:

$$(p - k)y\bar{g}_m = h$$

ou

$$\bar{g}_m = \frac{h}{(p - k)y}$$

Isto é efetivamente o mesmo conceito de equilíbrio que é empregado em outras determinações de teor de corte. O material mineralizado deveria ser classificado como minério contando que seu valor implícito,  $(p - k)y\bar{g}$ , exceda o custo adicional de processo  $h$ .

Há duas características importantes da fórmula para  $\bar{g}_m$ . Primeiro, ela mostra que o valor implícito de material mineralizado necessita cobrir unicamente o custo variável do tratamento (após o devido desconto do custo de marketing  $k$ ).

Segundo, a fórmula não envolve qualquer referência ao valor presente. Esta mostra que uma mina limitada pela capacidade de lavra ou de desenvolvimento, neste caso, deveria ser operada em uma base tática em vez de estratégica. Por exemplo, em um fundamento tático, se o preço do mineral muda, o teor de corte deveria ser mudado; como o preço ascende o teor de corte deveria ser abaixado neste caso, porque um teor baixo aumenta a proporção de material mineralizado classificado como minério e, portanto, aumenta a quantidade do mineral total produzido; não havendo restrição na capacidade de tratamento para limitar a produção de minério extra. Portanto, a saída aumenta quando o preço aumenta.

### 3.5.2. Limitação do Tratamento

É comum que uma ou outra das instalações de tratamento de minério ou das plantas de concentração restrinja a produção. Neste caso, uma unidade de material mineralizado dá origem a  $x$  unidades de minério e são tomadas  $x/H$  unidades de tempo para o tratamento. Portanto  $\tau = x/H$ , e a expressão III torna-se:

$$Max_g \left\{ v_h = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - \frac{(f + F)}{H}x \right\}$$

Seguindo o mesmo raciocínio de antes, esta expressão equivale a:

$$Max_g \left\{ x[(p - k)y\bar{g} - h - \frac{(f + F)}{H}] \right\}$$

e  $\bar{g}_h$  é dado por:

$$(p - k)y\bar{g}_h = h + \frac{(f + F)}{H}$$

ou

$$\bar{g}_h = \frac{\{h + (f + F)/H\}}{(p - k)y}$$

Pela fórmula, vê-se que o termo do valor presente  $F = \delta V^* - dV^*/dT$ , aparece simplesmente como um custo adicional. Esta fórmula é muito diferente de qualquer fórmula

tradicional por causa da presença do termo  $F$ , que pode apresentar valores muito significativos. Note que o teor de corte cai com o decaimento de  $F$ , isto normalmente acontece com minas mais antigas ou até próximas da exaustão. Isto é uma característica particular dos teores de corte determinados pela teoria do valor presente.

### 3.5.3. Limitação de Mercado

A limitação de mercado pode ser uma típica restrição de mercado imposta por, digamos, contrato de vendas exclusivas ou limitação da capacidade de uma refinaria ou smelter. Uma unidade de material mineralizado dá origem à  $xy\bar{g}$  unidades de mineral que tomam  $xy\bar{g}/K$  unidades de tempo para o processamento ou venda. Assim, a expressão do teor de corte ótimo torna-se:

$$Max_g \left\{ v_k = (p - k)xy\bar{g} - xh - m - \frac{(f + F)}{K}xy\bar{g} \right\}$$

Como antes, isto é equivalente a:

$$Max_g \left\{ x \left[ \left( p - k - \frac{(f + F)}{K} \right) y\bar{g} - h \right] \right\}$$

E  $g_k$  é dado por:

$$\left\{ p - k - \frac{(f + F)}{K} \right\} y g_k = h$$

ou

$$g_k = \frac{h}{\left\{ p - k - \frac{(f + F)}{K} \right\} y}$$

Esta fórmula e as anteriores têm em comum a característica de que o custo fixo foi distribuído segundo um limite de capacidade e somado ao correspondente custo variável, ou seja, para o caso de limitação do tratamento, o custo de tratamento torna-se:

$$h + \frac{(f + F)}{H}$$

E para o caso de limitação do mercado, o custo de mercado torna-se:

$$k + \frac{(f + F)}{K}$$

A última fórmula é original na forma, mas ela possui a mesma característica típica de que o teor de corte cai conforme  $F$  decai conforme a vida da mina é reduzida.

Pelo que foi visto, nenhuma destas fórmulas faz qualquer referência direta aos teores reais de mineral presente no corpo mineralizado. Um teor de corte é calculado tendo como referência somente custos, preços e capacidades apesar de que os teores realmente variam dentro do corpo mineralizado sendo lavrado. Em uma abordagem mais detalhada, Lane (1988), abordou em seu livro como a distribuição do teor real influencia no teor de corte

ótimo, no entanto, para o escopo deste trabalho onde o que limita a produção é a lavra, a usina ou o mercado, a distribuição do teor real não é diretamente relevante.

Uma consideração muito importante sobre a aplicação destas fórmulas e, também, sobre a aplicação de quaisquer outras fórmulas de equilíbrio é que eles são aplicados a teores reais, tal como eles ocorrem na Terra. Esses não são necessariamente idênticos aos teores que foram aferidos à época da implantação da decisão do teor de corte. Supõe-se que os teores levantados pelas pesquisas sejam confiáveis. Caso não sejam, havendo erros de medição de teores significantes, podemos ter discrepâncias entre o limite teórico entre o minério e o estéril dado pelas fórmulas de equilíbrio e a separação real alcançada na prática pela imposição do teor de equilíbrio como um teor de corte operacional.

Outra consideração é que as fórmulas são dependentes da forma da Equação II. Um modelo diferente que origine uma equação diferente geralmente terá o máximo determinado por fórmulas diferentes. Eles têm de ser derivados especialmente para cada caso. Se isto provar ser difícil por causa da complexidade da equação, o máximo pode sempre ser encontrado por um processo de pesquisa.

### 3.6. Múltiplos Minerais

Em muitas minas, não há somente um produto metálico final; ocorre que, muitas vezes, há associado com o metal principal algum outro cuja exploração é também economicamente viável. Para este caso, há a necessidade de controlar diferentes proporções de produtos ou configurando condições individuais para cada metal ou, geralmente, utilizar o conceito de metal equivalente. Uma fórmula simplificada para o teor de corte composto é

$$TC1 \times Rec1 \times Preço1 + TC2 \times Rec2 \times Preço2 \geq Custos$$

$$TC_{EQ1} = TC1 + TC2 \times K2$$

$$\text{onde } K2 = \frac{(Rec2 \times Preço2)}{(Rec1 \times Preço1)}$$

ou

$$TC_{EQ2} = TC2 + TC1 \times K1$$

$$\text{onde } K1 = \frac{(Rec1 \times Preço1)}{(Rec2 \times Preço2)}$$

onde TC é o teor de corte, Rec é a recuperação metalúrgica e Preço é o preço de venda do mineral.

Apenas pode se aplicar o conceito de metal equivalente se o custo de processo é o mesmo independente do teor, ou se varia linearmente com o teor. A recuperação metalúrgica de ambos também deve ser independente dos teores. Caso seja algum destes casos, deve-se então aplicar a análise independente para cada um dos metais.

### **3.7. .Análise do comportamento do teor de corte**

#### **3.7.1. Nível do teor de corte**

Os fatores que determinam a utilização relativa das capacidades em um sistema de mineração são a distribuição de teor do material sendo lavrado e também o teor de corte que está sendo aplicado para este material lavrado.

Um teor de corte baixo implica que muito do material mineralizado oriundo do desenvolvimento e abertura de acessos é tratado como minério. A recuperação mineral de todo o corpo mineralizado é alta porque muito pouco é classificado como estéril, mas o teor médio de minério é baixo. Assim, a quantidade de mineral obtida dada uma taxa de desenvolvimento é alta, mas a produção de mineral para dada quantidade de minério é baixa.

Um teor de corte alto implica alta seletividade na mineração, o que requer uma alta taxa de desenvolvimento da mina para manter um dado nível de alimentação de minério para a usina. A recuperação de mineral para uma dada extensão de desenvolvimento é comparativamente baixa porque os teores baixos de mineralização são classificados como estéril, mas o teor médio de minério é alto de modo que a produção de mineral a partir de dada quantidade de minério é alta.

#### **3.7.2. Teor de corte versus Custos**

Os custos associados à produção do metal são os principais parâmetros para determinar o comportamento do teor de corte. Sejam eles fixos, variáveis ou de capital; sua influência pode ser vista nas fórmulas de Lane, onde atuam “equilibrando” as receitas. Um custo interessante de se analisar é o de capital que diminui conforme as reservas diminuem. Logo, para uma mina próxima do esgotamento, pode-se utilizar um teor de corte menor do que quando estava em plena atividade.

#### **3.7.3. Teor de corte versus Tempo**

Para uma dada mina, quando alteramos o teor de corte do período inicial de lavra, podem ocorrer as seguintes situações:

- Diminuir o NPV, se o teor de corte for diminuído;
- Aumentar o NPV, se o teor de corte for aumentado.

Para explicar melhor, considere que no período inicial se lavra um incremento inicial  $I$  de mineral em um tempo  $T_i$ . Assim, ao diminuirmos o teor de corte, aumentamos o  $T_i$  para

poder lavar o mesmo I de antes da mudança e ainda atrasamos a lavra dos incrementos restantes de mineral, logo há a redução do NPV da mina. Já ao aumentarmos o teor de corte, diminuímos este mesmo Ti para lavar o mesmo incremento I, mas adiantamos a lavra dos incrementos restantes de mineral, logo há o aumento do NPV da mina. Segue uma tabela com um resumo deste comportamento;

**Tabela 1 – Comportamento do NPV considerando variação no teor de corte inicial**

Teor de Corte	Ti para lavar incremento inicial	NPV
↑ ↓	↓ ↑	↑ ↓

Também com relação ao comportamento do teor de corte versus tempo, outro fator importante a ser citado é a depreciação, que explica o fato de muitas vezes os teores decrescerem conforme a mina vai crescendo. Stone, John, G. e Dunn, Peter, G., (1996) apud Cardoso, T. (2007), dizem: “Uma vez que toda a despesa de pré-produção tenha sido capturada pela depreciação, um minério previamente não econômico pode ser lucrativo, mas até que este ponto no tempo seja alcançado, depreciação e todos os custos irreversíveis devem ser incluídos no cálculo do teor de corte”.

#### 3.7.4. Teor de corte versus Preços/Recuperações metalúrgicas

O principal parâmetro para o cálculo do teor de corte é o preço do produto a ser vendido, em conjunto com a sua recuperação metalúrgica. Por isso, para se fazer uma previsão de teor de corte no futuro, é necessário uma boa estimativa dos preços do metal, assumidos tirados do plano estratégico da companhia.

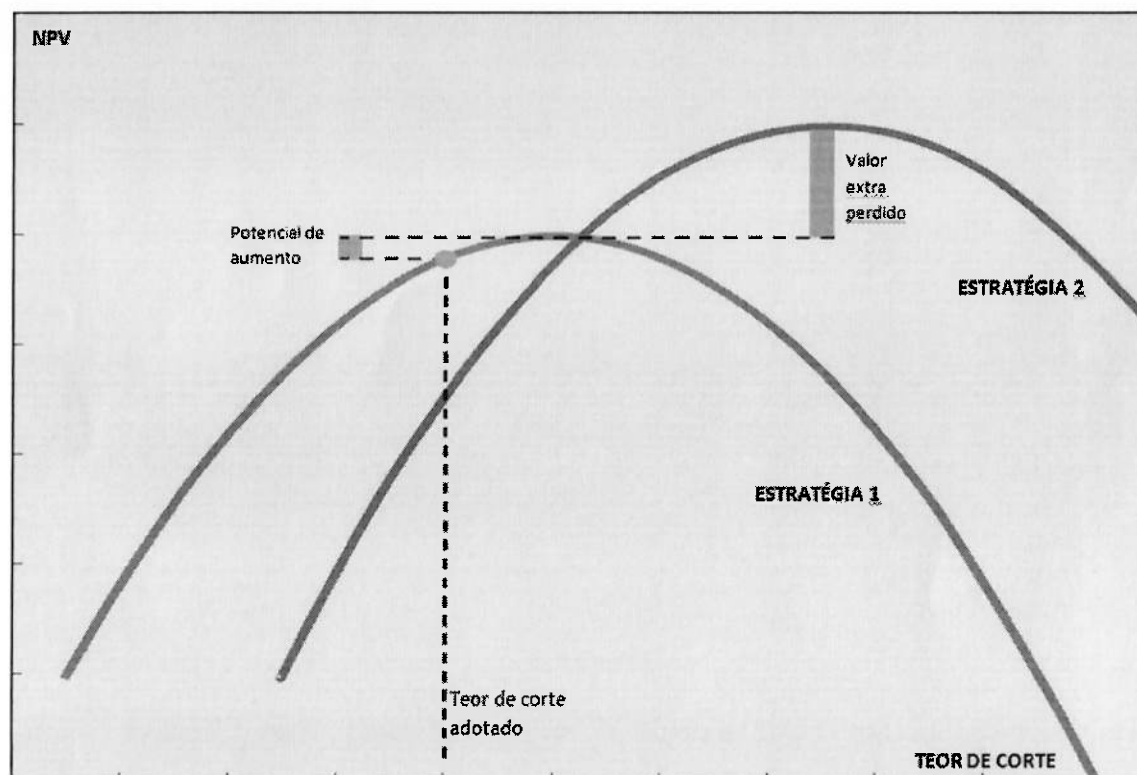
#### 3.7.5. Teor de corte associado ao NPV

Segundo Hall (2000), para a análise de viabilidade econômica de um projeto, associar o teor de corte somente com o teor que faz com que os custos de operação e outros custos associados com a produção do metal equilibrem com as receitas nem sempre resulta na maximização do NPV do projeto. Assim, não é somente porque o bloco ou parcela do minério cobre seu próprio custo que ele deve ser lavado. Não necessariamente o teor de corte baseado somente no equilíbrio de custos e receitas, que garante seu pagamento a curto prazo, é o melhor a longo prazo; na verdade é improvável que seja.

O ponto-chave é que o teor de corte para longo prazo é um dos mais importantes parâmetros de projeto para guiar as operações de mina a fim de guiá-las para a realização de suas metas. Portanto, deve considerar todo o tipo de expansões de produção e upgrades de equipamentos previstos. Considerar somente o ponto de equilíbrio entre custos e receitas é algo para o curto prazo e que provavelmente não maximizará o NPV de longo prazo. Logo, para o teor de corte de longo prazo, deve-se alcançar a maximização do NPV de longo prazo, avaliando uma série de teores de corte (ou melhor, uma programação de teores de corte com o tempo) e avaliar qual destes dá o maior valor de acordo com as metas corporativas. Exceto para minas “mais maduras”, com maior tempo de operação, o teor de corte que maximiza o NPV vai ser certamente maior que o teor de corte para o ponto de equilíbrio custos-receitas.

Este método para o cálculo de teor de corte envolve uma quantidade considerável de interpretação geológica, projeto de mina, planejamento e modelagem financeira e econômica em relação à metodologia empregada por Lane, mas isto é primordial, visto que ele uma das bases para o estudo de viabilidade econômica de uma mina. Portanto, ao aplicar o método de Lane visto ou qualquer outro mais simples para o estudo de pré-viabilidade ou viabilidade de uma mina, com o intuito de reduzir a quantidade de trabalho feito, pode-se ter um impacto adverso dramático no valor global futuro do empreendimento em ao menos dois casos.

Primeiramente, as fases de estudo de viabilidade são onde várias estratégias para a operação devem ser examinadas e comparadas. Uma vez comprometida uma estratégia particular, por exemplo, o método de mineração, capacidade de infra-estrutura, etc. isto pode ser difícil se não impossível mudar. Um teor de corte adotado inicialmente pode ser adotado ao otimizar os ganhos para uma estratégia, mas não para outra. A seleção da primeira estratégia não será desvantajosa, mas pode ter uma significativa queda no valor do que a outra em seu ótimo teor de corte. (Vide Figura 5) A melhor decisão não terá sido feita, e provavelmente, não será mais.



**Figura 5 – Comparação entre estratégias para teores de corte (Hall, 2000)**

Secundariamente, o programa de teor de corte especificado nestes estudos prematuros vão quase certamente tornar-se o programa adotado durante os primeiros anos da vida da mina. Tipicamente, entre o estudo de viabilidade e o tempo que produção começa a fluir, muitos pequenos trabalhos de longo prazo estão sendo feitos. Todos estão (justamente) focados na construção e obtenção da operação que trabalha de forma razoavelmente eficiente. Com o tempo, uma revisão da estratégia de longo prazo é feita, baseada em uma maior quantidade de informações.



Um estudo que demonstra que um teor de corte significativamente maior irá maximizar o valor resultará necessariamente em uma redução dos recursos e reservas reportados. A administração teme que o mercado irá (corretamente) prever um aumento na depreciação anual e das cargas de amortização, mas (incorretamente) eles ignoram o aumento das rendas potenciais. Uma redução no lucro anual reportado é, portanto, previsto e, perversamente, uma mudança na estratégia que deveria dar ganho aos acionistas é temida por ter o efeito de baixar o preço das ações. Assim, a mudança nunca acontece e, isto torna politicamente impossível maximizar o valor da operação!

Pode-se persistir em usar um ponto de equilíbrio operacional como teor de corte no longo prazo, não havendo perdas significativas, mas eles tampouco nunca vão maximizar o valor de sua operação!

#### 4. ESTUDO DE CASO

Para o caso do presente trabalho, como a idéia é propor uma metodologia cíclica, ano a ano, portanto de curto prazo ( $\leq 1$  ano), não aplicaremos o modelo de teor de corte associado com o NPV, para longo prazo, e sim o modelo de Lane.

O modelo para o cálculo do teor de corte  $g$  que será utilizado é um pouco mais complexo do que aquele mostrado anteriormente.

$$g = \frac{\left( h + \frac{(f + F)}{H} \right)}{[(P - k) \times y]}$$

Onde:

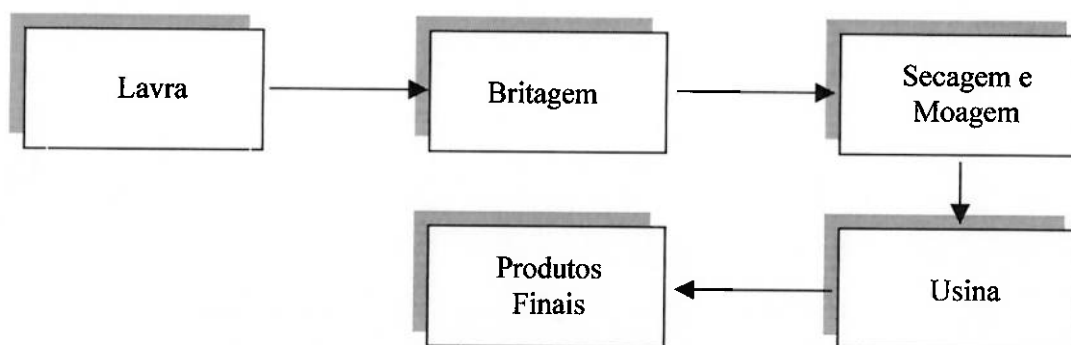
$f$  = custo fixo por unidade de tempo;  
 $F$  = custo de oportunidade do capital;  
 $H$  = capacidade de tratamento da usina (fator limitante da produção);  
 $P$  = preço do produto;  
 $K$  = custo de marketing;  
 $Y$  = recuperação metalúrgica do mineral.

Este modelo de teor de corte considera o Custo de Capital da empresa, sendo assim, é mais realista. Também considera outros parâmetros como impostos, depreciação, etc, mas não estão indicados na fórmula; eles entram adicionando-se aos custos já indicados.

Como estudo de caso optou-se por reavaliar os teores de corte praticados nos anos de 2002 a 2007 para todo o processo de uma dada mina a fim de, inicialmente, calibrar o modelo com valores já conhecidos. Todos os custos associados com a produção foram fornecidos pelo pessoal responsável da mina, já os preços dos metais foram baseados nos valores históricos do mercado de metais. Assim, conseguiu-se chegar a um modelo básico para o cálculo do teor de corte na mina (utilizando sempre os valores realizados de 2002 a 2006 e os valores orçados de 2007).

#### 4.1. A mina

O teor de corte será aplicado em uma mina a céu aberto, caracterizada por produzir dois produtos: níquel, o produto principal, e cobalto, o subproduto. Não daremos nome à mina, nem a companhia. A mineração pode ser representada pelo fluxograma simplificado da figura 6:



**Figura 6 – Fluxograma simplificado do processo**

#### 4.2. Condução das atividades do projeto

Para garantir uma adequada aplicação do teor de corte, foi necessário fornecer um conjunto de regras e postulados aliado ao método de cálculo do teor de corte. Isto se dá por se utilizar valores de parâmetros de diversas áreas, envolvendo diversas pessoas.

No andamento do projeto de teor de corte, discutidos os valores que seriam necessários para os cálculos, foram encontradas as seguintes dificuldades:

- Falta de clareza na montagem da planilha de custos;
- Presença de algumas bruscas variações de valores de custos;
- Mudança de padrão da planilha após mudança de responsável por esta;
- Lacunas na planilha;
- Falta de compreensão acerca o assunto teor de corte;
- Valores não disponíveis.

Para garantir o cumprimento dos objetivos do projeto, foram propostas e tomadas as seguintes soluções para as dificuldades encontradas, o que garantiu uma melhor troca de informações e uma melhor confiabilidade nos dados utilizados.

- Criação de uma planilha auxiliar à planilha de custos com o esclarecimento de todas os parâmetros embutidos neste;
- Revisar os valores utilizados nos cálculos ano a ano em busca de variações bruscas e não conformes com as operações conhecidas na mina;
- Garantir que uma planilha padrão continue sendo utilizada ao longo do tempo e, quando houver a necessidade de alguma mudança, tornar disponível na planilha mais atual informações a respeito de alterações incorridas nesta;
- Revisar todos os valores duvidosos e inexistentes com o responsável e, conforme o caso, corrigir ou adotar outro valor informando a natureza duvidosa do valor por meio de um código;
- Promover reuniões para conscientizar, alinhar os conhecimentos e trocar dúvidas e informações a respeito do projeto.
- Garantir uma rápida e efetiva troca de informações.

#### **4.3. Os parâmetros envolvidos**

Todos os parâmetros, bem como cálculos utilizados estão em anexo (Anexos 1, 2, 3 e 4). Eles não foram postos em seu devido lugar no estudo de caso, pois acreditamos que, por serem arquivos muito grandes, iriam quebrar o andamento do texto no trabalho.

Para a mina da companhia em questão, consideramos os seguintes parâmetros na cálculo do teor de corte:

- Produção final de níquel e cobre metálicos;
- Produção na lavra (minério e estéril);
- Custos fixos: Salários/Encargos, materiais e peças, serviços de terceiros, demanda de energia, outros, etc;
- Custos variáveis: Óleo combustível, energia elétrica, amônia, sulfeto de sódio, fosfato, coque de petróleo, soda cáustica, Cyanex, barrilha leve, tecidos, água oxigenada, carvão ativado, embalagens, reciclados, outros;
- Despesas operacionais: Salários/Encargos, serviços de terceiros, benefícios, participação nos resultados, outros;
- Cotação do dólar médio anual;
- Fator de recuperação metalúrgica global (para Ni e Co);
- Taxa de desconto adotada pela companhia;
- Tributação;

- Valor estimado da reserva remanescente por data: calculado trazendo para o valor presente da data o valor da reserva ainda não lavrada. Aqui se utilizou as projeções de preços futuros dos metais níquel e cobalto e o plano estratégico de lavra até o fim da vida útil da mina;
- Preços do níquel e cobalto metálicos.

Os valores destes parâmetros são listados nos Anexo 1 e 2, e os resultados da análise de teor de corte e também de NPV do projeto podem ser vistos nas planilhas dos anexos 3 e 4.

Agrupados todos os valores necessários, efetuou-se, então, o cálculo para o teor de corte, obtendo os resultados vistos na tabela 2 que, pelos valores da companhia, são coerentes:

**Tabela 2 – Teor de corte ao longo do tempo**

<b>Teor de corte ao longo do tempo</b>					
<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
1.13%	0.91%	0.86%	0.67%	0.60%	0.61%

A diminuição deste teor de corte econômico ao longo do tempo se deu principalmente pela valorização no mercado do níquel, principalmente, e também do cobalto. Valorização esta que pode ser vista na tabela 3.

Outro efeito interessante da valorização do metal ao longo destes anos visto na tabela do anexo 3, foi que o custo de oportunidade do capital, que reflete o quanto ainda resta de reservas do minério em capital, aumentou de 2003 até 2006, ao contrário do que ocorreria caso o metal estivesse com preços estáveis ou em queda.

Na planilha do anexo 4, tem-se um cálculo do NPV do empreendimento tão importante quanto o valor de teor de corte. Este foi calculado tendo como ano-base 2002, mas a meta do projeto é fazer o mesmo tendo como ano base o ano presente e utilizando previsões de valores dos anos futuros. A planilha também estaria habilitada a calcular o TIR, mas no caso do anexo 4, não foi calculada porque não há valores que façam com que o NPV chegue a zero.

**Tabela 3 – Preços ao longo do tempo**

<b>Preços para Ni equivalente por tonelada de minério lavrado</b>					
<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
\$ 6,775.00	\$ 9,633.00	\$ 13,830.00	\$ 14,744.00	\$ 24,254.00	\$ 33,000.00

Analisando os principais custos que pesam no cálculo do teor de corte, podemos destacar para a mina em questão:

- Combustível: 54,1%;

- Salários/Encargos: 18,9%;
- Energia elétrica: 13,8%;
- Materiais e peças: 8,1%.

Por fim, para verificar os principais parâmetros que influenciam na variação de valores do teor de corte econômico, o gráfico da figura 7, é apresentado. Nele, pode-se ver que os dois principais parâmetros responsáveis pela mudança no teor de corte são o preço de venda do níquel e sua recuperação. Também têm bastante importância o total de custos variáveis do processo.

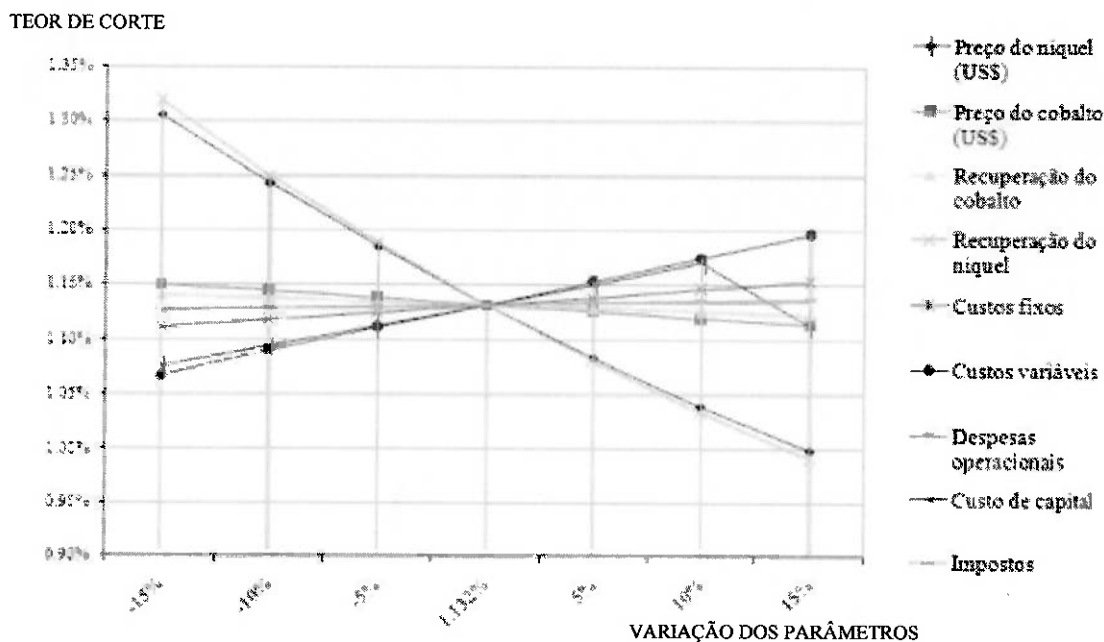


Figura 7 – Variação do teor em y de acordo com os parâmetros

## 5. COMENTÁRIOS FINAIS

Esta etapa do projeto ainda precisa de um melhor detalhamento para as etapas seguintes quanto à revisão das planilhas de custos e outros parâmetros. Isto está sendo feito com as pessoas responsáveis da mina e deve continuar até termos uma planilha padrão completa. O trabalho de revisão bibliográfica e de estudo dos métodos mais adequados para o cálculo do teor de corte foi totalmente cumprido, direcionando o teor de corte praticado no planejamento de curto prazo das minas para o modelo que foi demonstrado.

Vimos em nossos estudos como é crítico o teor de corte, principalmente no início do projeto, uma vez que este determina a economia global do empreendimento, e também a importância de distinguir o teor de corte de longo prazo, aplicado principalmente nos estudos de viabilidade e pré-viabilidade, do teor de corte de curto prazo, aplicado nas operações da mina e objeto principal deste trabalho.

análise dos riscos envolvidos nas estimativas do teor de corte. Esta análise se dará com base no trabalho já feito, priorizando as previsões de valores para aqueles parâmetros que foram identificados como mais importantes para a determinação do teor de corte, tais como: preço e recuperação do níquel e, dentro dos custos variáveis, o custo do combustível utilizado.

Por fim, em uma etapa mais avançada deste projeto, pretende-se padronizar a metodologia proposta com o intuito de ser usada em todas os planejamentos de curto prazo da companhia, aplicando-as e efetuando as mudanças conforme necessárias.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, T.. **Treinamento no software Whittle - Gemcom**. Belo Horizonte: Setembro 2007.

HALL, B.. Practical cutoff grades for underground mining maximising value, or marginalising resources? **Digging Deeper**. Fevereiro 2000. Disponível em < <http://www.amcconsultants.com.au/digging/newspdf/feb00.pdf>>. Acesso em 25 setembro 2007.

JÚNIOR, A. C. C.. Impacto do efeito suporte e do efeito informação sobre a recuperação de reservas. **Revista Escola de Minas**. V. 54, n. 2, Junho 2001. Disponível em < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672001000200011&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672001000200011&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em 10 novembro 2007.

LANE, J. F.. **The economic definition of ore**. 1ª Ed.. Londres: Mining Journal Books, 1997, 160 p.

MOL, O.. Cutoff grade determination for mines producing direct-shipping iron ore. **Proc. Australas. Inst. Min. Metall**, n. 289, p. 283-287, Novembro-Dezembro 1984.

NAPIER, J. A. L.. The effect of cost and price fluctuations on the optimum choice of mine cut-off grades. **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, p. 117-125, Junho 1983.

RODRIGUES, R. L.; WHEELER, A. J.. Cutoff-grade analysis at Fazenda Brasileiro: mine planning declining gold prices. **Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy**, Section A, v. 111, p. A35-A46, Janeiro-Abril 2002.

RUNGE, I. C.. **Mining Economic and Strategy**. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1998, 316 p.

SOUZA, P. A.. **Avaliação Impacto econômico da questão ambiental no processo decisório do investimento em mineração**. Brasília: Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral – DNPM, 2001, 152 p. (Estudos de política e economia mineral).

SOUZA, P. A.. **Avaliação econômica de projetos de mineração**. 1ª Ed.. Belo Horizonte: IETEC (Instituto de Educação Tecnológica), 1995, 247 p.

TAYLOR, H. K.. Cutoff grades – some further reflections. **Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy**, Section A, v. 96, p. A204-A216, Outubro 1985.

TINLEY, C.R.; EMERSON, M.E.; EPPLER W.D.. **Finance for the Mineral Industry**. 1<sup>a</sup> Ed.. Nova York: Society of Mining Engineers. 1985. 842 p.

## 7. ANEXOS

# ANEXOS



# 7.1. ANEXO 1: Dados gerais da mina

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Dólar médio orçado (US\$)	2.92	3.08	2.93	2.44	2.18	2.24
Fator de diluição do minério total (%)	9.10	10.35	10.62	14.15	5.81	5.81
Fator de recuperação na lavra (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Fator de recuperação Ni global (%)	68.54	68.64	68.83	67.78	62.99	67.15
Fator de recuperação Co global (%)	40.77	43.37	47.29	45.26	36.11	41.58
Fator de recuperação Ni equivalente (%)	66.13	66.47	67.22	66.04	61.19	65.22
Taxa de desconto (%)	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
Tributação (US\$)	4,434,476	15,457,027	17,824,215	20,687,687	63,262,838	70,143,252
Valor estimado da reserva remanescente por início de data (US\$)	3,802,081	4,056,742	4,271,418	4,373,099	4,470,760	4,363,000
Preço do Ni (US\$ / T)	6,775	9,633	13,830	14,744	24,254	36,274
Preço do Co (US\$ / T)	15,491	21,064	47,521	32,013	33,161	58,223

7.2. ANEXO 2: Dados gerais da mina (cont.)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Produção Ni Final	T	17,676.0	18,155.0	19,742.0	20,714.0	21,339.0
Produção Co Final	T	960.0	1,097.0	1,155.0	1,136.0	903.0
Produção de Minério Úm.	T	2,941,647.0	3,007,361.0	3,272,170.0	3,713,813.0	4,401,632.0
Produção de Estéril	T	6,084,766.0	6,948,789.0	9,385,319.0	16,156,167.0	14,327,144.0
Produção de Minério Seco	T	1,771,688.0	1,779,861.0	1,989,782.0	2,199,478.0	2,403,770.4
teor Ni - Base Seca	%	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
teor Co - Base Seca	%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
REM		2.1	2.3	2.9	4.4	3.3
Umidade	%	31.6	30.9	30.3	29.7	35.0
						30.0

## 7.3. ANEXO 3: Planilha para Cálculo do teor de corte e NPV

Cálculo do Cut-Off	2,002	2,003	2,004	2,005	2,006	2,007
Receitas - depreciação/amortização (US\$)	134,629,795	198,001,464	327,922,563	341,772,083	547,509,043	808,203,578
OPEX total (US\$)	101,306,777	128,857,344	233,856,855	191,986,252	288,930,801	427,119,112
LAIR (US\$)	33,323,019	69,144,121	94,065,708	149,785,831	258,578,242	381,084,467
Impostos/ tributação (US\$)	4,434,476	15,457,027	17,824,215	20,687,687	63,262,838	70,143,252
Lucro líquido (US\$)	28,888,543	53,687,094	76,241,493	129,098,144	195,315,403	310,941,214
F - Custo de oportunidade de capital (US\$)	53,355,245	42,190,117	44,422,746	45,480,233	46,495,900	45,375,198
Sustaining Capital (US\$)						
Total (US\$)	(24,466,703)	11,496,976	31,818,747	83,617,910	148,819,503	265,566,016
Minério úmido (T)	2,941,647	3,007,361	3,272,170	3,713,813	4,401,632	3,662,593
Produção de níquel (T Ni)	17,676	18,155	19,742	20,714	21,339	20,611
Produção de cobalto (T Co)	960	1,097	1,155	1,136	903	1,040
Recuperação global Ni equivalente (%)	66.13	66.47	67.22	66.04	61.19	65.22
Preço Ni equivalente (US\$)	7,224	10,285	15,692	15,642	24,616	37,329
Cut-off (%Ni para ton de minério lavrado)	1.132%	0.91%	0.86%	0.67%	0.60%	0.61%
Taxa de desconto						
						10.40%

7.4. ANEXO 4: Planilha para Cálculo do teor de corte e NPV (cont.)

VPL/ TIR	2,002	2,003	2,004	2,005	2,006	2,007
Lucro líquido (US\$)	28.888,543	53,687,094	76,241,493	129,098,144	195,315,403	310,941,214
Capital de investimento (US\$)						
Depreciação/ Amortização/ Exaustão (US\$)	16,120,000	9,021,000	9,880,000	8,024,000	22,939,000	36,011,000
Total (US\$)	45,008,543	62,708,094	86,121,493	137,122,144	218,254,403	346,952,214

VPL 2002 (US\$)	68.623,498
TIR 2002 (US\$)	#NÚM!