



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Héctor Adalberto Bernardi**

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS PARA AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS  
DE LAVRA DE MINA A CÉU ABERTO**

**Palmas – TO**

**2015**

**Héctor Adalberto Bernardi**

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS PARA AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS  
DE LAVRA DE MINA A CÉU ABERTO**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Especialista José Cleuton Batista.

**Palmas – TO**

**2015**

## **Héctor Adalberto Bernardi**

### **DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS PARA AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE LAVRA DE MINA A CÉU ABERTO**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Doutor/Mestre/Especialista José Cleuton Batista.

**APROVADA EM:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Esp. José Cleuton Batista  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. M.Sc. Daniel dos Santos Costa  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Esp. Valério Sousa Lima  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas – TO**

**2015**

## **AGRADECIMENTO**

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela minha vida e por tudo que me proporciona;

Ao meu pai e minha mãe por serem duas pessoas maravilhosas que nunca mediram esforços para proporcionar meus estudos, sempre me apoiando, me incentivaram em todas as minhas decisões;

A todos meus familiares que sempre torceram por mim, em especial as minhas irmãs;

Aos meus amigos que me apoiaram, incentivaram, em especial a meus amigos da faculdade que nos momentos difíceis me ajudaram;

Ao professor, orientador e companheiro Esp. José Cleuton Batista, pela paciência, atenção e pelos ensinamentos de vida e profissional;

A todos os professores do CEULP/ULBRA, em especial aos professores M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues, M.Sc. Daniel Setti e Dr. Erwin Francisco Tochtrop Junior;

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e para a conclusão do meu curso superior.

*"A mente que se abre a uma nova  
idéia jamais voltará a seu  
tamanho original".*

*Albert Einstein*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.10 Projeto da lavra .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Operações de Lavra.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.1 Escavação ou desmonte.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1.1.1 Plano de fogo.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1.2 Carregamento .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.3 Transporte.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1.4 Auxiliares.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Equipamentos Empregados na Lavra .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1 Equipamentos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.1 Unidades de escavo-empurradoras (Tratores).....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1.2 Unidades escavo-carregadoras .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1.2.1 Escavadeiras.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1.2.2 Escavadeira “Drag-line” .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1.3 Carregadeiras .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2 Unidades de Transporte.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3 Unidades de perfuração .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Premissas para Dimensionamento de Equipamentos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.1 Compatibilidade dos Equipamentos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2 Produtividade dos Equipamentos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Parâmetros de produtividade dos equipamentos .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Operações no ciclo de produção .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6 Manutenções dos equipamentos .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6.1 Manutenção mecânica.....</b>	<b>36</b>
<b>2.6.2 Manutenção corretiva .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6.3 Manutenção preventiva.....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.4 Manutenção preditiva .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7 Custos operacionais .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7.1 Custos indiretos .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7.2 Custos diretos.....</b>	<b>39</b>

2.7.3 Custos gerais .....	39
<b>3 MATERIAS E METODOS .....</b>	<b>41</b>
3.1 Desenvolvimento do Projeto .....	41
<b>4 Dimensionamento de frota: Um estudo demonstrativo.....</b>	<b>43</b>
4.1 Descrição do caso .....	43
4.2 A Mina .....	43
4.3 Plano de lavra .....	44
4.4 Fundamentos para adequação dos equipamentos aos projetos de cava.....	44
4.5 Modelo de carregamento e transporte utilizado .....	45
4.6 Indicadores de produção.....	46
4.7 Dimensionamento dos equipamentos.....	47
4.7.1 Perfuratriz.....	48
4.7.2 Carregamento escavadeira .....	50
4.7.3 Transporte caminhão .....	51
4.7.4 Equipamento auxiliar trator de esteira .....	53
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
5.1 Composição dos custos .....	56
5.2 Influência do dimensionamento de frota nos custos unitários .....	60
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>

## RESUMO

As operações unitárias de lavra que é composta por perfuração, desmonte, carregamento e transporte são etapas de extrema importância no processo de lavra de minas. Para essas operações são dimensionado equipamentos em função de parâmetros como os custos gerados e o volume de produção, interferindo diretamente na escolha, que tem como objetivo encontrar os menores custos de operação. É importante que se tenha planejamento e gerenciamento bem elaborados das etapas dos processos, possibilitando aumentar a produtividade e diminuindo custos operacionais, fatores no qual toda empresa almeja. Para fim demonstrativo, no presente trabalho foi realizado um dimensionamento dos equipamentos empregados nas operações unitárias de lavra a céu aberto, observando parâmetros de produção, avaliando também os custos unitário e total, em função da variação da quantidade e capacidade de produção dos equipamentos. Para o desenvolvimento do estudo foi analisado conceito e métodos importantes que devem ser levados em consideração na hora da escolha dos equipamentos e na determinação dos custos operacionais, fatores que podem ser encontrado na literatura. Os métodos utilizados neste trabalho para a realização do dimensionamento dos equipamentos e dos custos operacionais podem ser empregados para qualquer tipo de mineração a céu aberto, sendo necessários apenas alterar os valores que variam de mina para mina. Perante o que foi apresentado, conclui-se que a quantidade de equipamentos mais interessantes, deve-se ao equilíbrio entre produção e custos, portanto, a frota que tem maior produção necessariamente não é a frota ótima, mas sim a que tem a melhor relação custo–produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento, equipamentos, lavra.

## **ABSTRACT**

The unit mining operations consists of drilling, blasting, loading and transport steps are extremely important in mining process. For these operations are scaled equipment function parameters as the generated costs and the volume of production, directly interfering in the choice, which aims to find the lower operating costs. It is important to have well-designed planning and management of the process steps, making it possible to increase productivity and decrease operating costs, factors which every company craves. To end statement, in this work was carried out sizing of equipment used in unit operations of open-pit mining, performed observing production parameters also analyzing the unit costs and overall, depending on varying the amount, equipment production capacity. To develop the study was analyzed concept and important methods that should be taken into consideration when choosing the equipment and determining operating costs, all of which can be found in the literature. The methods used in this work to carry out the sizing of equipment and operational costs can be used for any type of open pit mining, requiring only change values that vary from mine to mine. In view of what was presented in the work in question, it follows that the amount of more interesting equipment is due to the balance between production and cost, therefore, the fleet which has higher output is not necessarily the optimum fleet, but that has improved cost production.

**KEYWORDS:** Scaling, equipment, mining.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das unidades de tração. ....	13
Tabela 2: Pesos específicos, fator de conversão e empolamento de materiais: .....	26
Tabela 3: Coeficientes de rolamento para vários tipos de terrenos.....	33
Tabela 4: Ciclo de operações de uma mina a céu aberto genérica.....	34
Tabela 5: Premissas do projetoda cava .....	45
Tabela 6: Disponibilidade do equipamento .....	46
Tabela 7: Utilização do equipamento .....	47
Tabela 8: Rendimento da operação .....	47
Tabela 9: Parâmetros do processo de perfuração e desmonte.....	48
Tabela 10: Dimensionamento de perfuratriz .....	50
Tabela 11: Dimensionamento de escavadeira .....	51
Tabela 12: Tempo de ciclo transporte .....	52
Tabela 13: Determinação da velocidade média .....	52
Tabela 14: Dimensionamento de caminhão .....	53
Tabela 15: Fatores para o dimensionamento .....	54
Tabela 16: Parâmetros para dimensionamento.....	54
Tabela 17: Dimensionamento trator de esteiras.....	55
Tabela 18: Determinção dos custos em função da produção .....	59
Tabela 19: Variação de custo de acordo com a produção .....	61
Tabela 20: Custo de produção com a frota de quatro caminhões.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Movimentação da carregadeira no carregamento .....	9
Figura 2: Fluxo do processo de carregamento e transporte .....	11
Figura 3: Trator de esteira “bulldozer” .....	13
Figura 4: Trator de pneus “bulldozer” .....	14
Figura 5: Utilização da lâmina “bulldozer” .....	14
Figura 6: Utilização do escarificador “bulldozer” .....	15
Figura 7: Modelo de escavadeira .....	16
Figura 8: Modelo de “Drag-line” em operação .....	17
Figura 9: Modelo de pá-carregadeira sobre pneus .....	18
Figura 10: Modelo de pá-carregadeira sobre esteira .....	19
Figura 11: Modelo de caminhão comum de mineração .....	20
Figura 12: Modelo fora de estrada ou “off-roads” .....	20
Figura 13: Modelo de perfuratriz MD5050 .....	21
Figura 14: Modelo de compressores de ar portáteis de médio porte. ....	22
Figura 15: Distribuição dos custos de lavra convencional por caminhão .....	40
Figura 16: Custos operacionais de lavra .....	57
Figura 17: Composição dos custos anual em % .....	58
Figura 18: Composição dos custos anual em (R\$) .....	58
Figura 19: Custo vezes produção t/h .....	60
Figura 20: Variação de custo entre a capacidade de transporte .....	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CAPEX – (Capital Expenditure) Custo de Investimento de Capital

OPEX – (Operational Expenditure) Despesas Operacionais

REM – Relação Estéril Minério

DMT – Distância Média Transporte

## 1 INTRODUÇÃO

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos, sempre esteve presentes nos empreendimentos de mineração, mas em função da crise que se alastrou pelo país essa busca tornou-se ainda mais importante e necessária, possibilitando preços mais competitivos e lucrativos. Fatores os quais estimulam a busca por métodos e ferramentas que ajudam nos planejamentos e gerenciamento das minas.

Fazer a extração do minério não é uma tarefa fácil, o custo envolvido torna-se elevado em função dos equipamentos empregados e dos custos para mantê-los em operação. Nesse caso, necessita-se de uma pessoa capacitada para realizar o dimensionamento desses equipamentos, um engenheiro de minas, que necessita ter alguns parâmetros em mãos para que o dimensionamento possa ser executado. Os quais estão listados nos próximos capítulos deste trabalho, facilitando futuros trabalhos.

O Dimensionamento tem por finalidade obter uma produção satisfatória, atendendo a necessidade de produção e com o menor custo possível.

Os equipamentos utilizados no processo de produção de lavra em uma mina são divididos em quatro partes: perfuração, desmonte, carregamento e transporte, denominando-se operações unitárias de lavra. A perfuração é a fase inicial em que uma perfuratriz acionada por um compressor de ar comprimido, executa vários furos na rocha, no qual é inserido o explosivo que faz a detonação do maciço rochoso, com finalidade de fragmentar o material para que possa ser carregado e transportado até a planta de beneficiamento.

O carregamento pode ser efetuado por diversos modelos de equipamentos, podendo ser carregadeira, retroescavadeira, escavadeira, entre outros, para a escolha ideal deste equipamento é necessário levar em consideração alguns parâmetros, os quais serão expostos no decorrer do trabalho.

O transporte normalmente poderá ser feito por caminhões fora de estrada, que são caminhões com grandes capacidades de carga. O material a ser transportado pode ser tanto estéril quanto minério, o destino final desses materiais são diferentes, implicando no dimensionamento dos caminhões, tendo que aumentar a frota ou capacidade para atender a demanda da mina.

A aquisição desses equipamentos tem um custo elevado, existindo dois tipos de custo, o CAPEX (Capital Expenditure) custo de investimento de capital, ou custo de aquisição dos equipamentos e ainda custos de manutenção, além de outros gastos operacionais. O OPEX (Operational Expenditure) são despesas operacionais contidas na mina para manter em funcionamento, bem como as despesas cotidianas no dia a dia de uma empresa, salário dos funcionários, despesas gerais como administrativa, entre outras.

Ter um bom dimensionamento de frota significa estimar a quantidade certa de equipamentos necessários para cumprir os planos de produção, mantendo os custos competitivos e a sustentabilidade.

Até o presente momento foi abordado apenas algumas funções do dimensionamento de lavra, mas na sequência do trabalho o assunto será aprofundado de forma crescente e por fim será realizado um dimensionamento de equipamentos e estimativa dos custos, os quais podem ajudar o amigo leitor futuramente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O Projeto da lavra

Projeto de mineração é um conjunto de estudos necessários à implantação de uma empresa de mineração. Estes estudos envolvem especialidades da Engenharia de modo geral, e a condução do projeto de mineração ao alcance dos objetivos esperados é fortemente dependente da correção com que os referidos estudos forem realizados, dando a cada um deles a importância que o mesmo necessita (BORGES, 2013).

Devido à complexidade envolvida e os riscos presentes à implantação dos projetos de mineração exigem uma rápida e constante avaliação dos resultados esperados nas operações das minas. Este processo cobre desde a avaliação dos projetos em suas etapas de exploração até as suas etapas de construção. A aquisição dos bens de produção, necessários para se colocar em funcionamento uma mina, exigem o desembolso de recursos econômicos que são determinantes na elaboração dos cálculos de viabilidade econômica do empreendimento mineiro a ser avaliado (JUNIOR, 2012).

A seleção do método de extração é o primeiro passo a ser tomado no processo do projeto de mina, podendo ser mineração subterrânea ou a céu aberto.

Para realização da escolha do método deverá ter em mãos alguns dados sobre o corpo mineralizado, entre eles estão o formato da jazida, tamanho, angulação de mergulho do corpo, profundidade bem como outros.

Tendo definido o método de lavra, que no presente trabalho será realizado por lavra a céu aberto, torna-se importante ressaltar que segundo Ferreira (2013), o método de lavra é designado como sendo a técnica de extração do material. Isso define a importância de sua seleção, já que todo o projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavar o depósito. Definido o método de lavra o próximo passo a ser tomado será a edificação de um modelo geológico, assim podendo começar as atividades de planejamento da lavra com fundamentos na prospecção, tendo em vista a realização de escavações para obtenção de informações sobre o formato e distribuição do corpo mineral, a fim de determinar os teores presentes com corpo

para realização do cálculo da quantidade do minério a ser recuperado na extração (BORGES, 2013).

Destaca ainda, que a partir da obtenção dos dados, constitui-se um modelo geológico, contendo centenas de blocos, a fim de representar o terreno da mina. Para cada um desses blocos é associado um valor econômico, que determina se este deve ser considerado como minério ou como estéril.

Seguindo o projeto da mina, é necessário que se projete e construa toda a infraestrutura necessária para dar início as operações, tais como: vias de acesso, alojamentos, refeitórios, rede de energia ou gerador, escritórios, almoxarifado, pilhas de estoque caso seja necessário. A locação dos mesmos deve ser realizada fora dos limites da cava final, para que futuramente não necessitem serem realocadas em outro local.

Borges (2013) afirma que após a construção de toda infraestrutura, é necessário que se faça a seleção dos equipamentos a serem utilizados nas atividades, tendo em vista um alto custo de investimento. Nesta parte do processo do projeto é de extrema importância que se tenha bastante atenção na hora da escolha dos equipamentos, uma escolha errada pode acarretar aumento dos custos operacionais. Em concordância com o que foi dito, Ferreira (2013), afirma que sem uma previsão das variáveis envolvidas e as soluções, todo empreendimento tende a ter maiores dificuldades para se desenvolver, ou está fadado a fracassar na sua implementação.

### **2.1.1 Operações de Lavra**

As operações em minas a céu aberto abrangem principalmente as operações básicas de perfuração, desmonte, carga e transporte. O processo de lavra tem início com a preparação da área a ser lavrada, chamada frente de lavra.

Após o material ser desmontado por meio de explosivos ou mecanicamente, os equipamentos de carga são deslocados até as frentes de lavra para que possam ser carregados e em seguida transportarem o material podendo ser minério ou estéril, carregando-os até um determinado ponto de descarga o qual pode ser beneficiamento ou aterro de estéril (QUEVEDO, 2009).

Para Ferreira (2013), é possível ser realizado o processo de carregamento e transporte de minério e estéril simultaneamente em diferentes frentes de lavra e até mesmo em diferentes centros de cava.

Ferreira observa que a execução de uma frente de lavra, pode-se subdividir esta tarefa em três operações básicas.

- I. Escavação ou Desmonte;
- II. Carregamento;
- III. Transporte.

#### **2.1.1.1 Escavação ou desmonte**

A escavação ou desmonte é o processo utilizado para romper a compacidade do solo ou rocha, por meio de ferramentas e processos convenientes, tornando possível a sua remoção. Uma escavação ou desmonte pode ser realizado com mais de uma finalidade, podendo ser para obtenção de bens minerais e a abertura de espaços para fins diversos. Escavações para fins de mineração normalmente envolvem grandes volumes de material, tanto estéril quanto minério, e se processam por períodos de tempo muito longos (FERREIRA, 2013).

No momento da seleção do método de escavação requerem-se estudos prévios sobre a natureza, qualidade e quantidade do material a ser movido, seu arranjo espacial, seu comportamento quando removido, o que por sua vez é função de fatores geológico-geotécnicos. Dependendo ainda das finalidades da escavação, dos prazos previstos, da existência de água, da distância aos locais de acomodação de estéreis, bem como dos equipamentos de lavra, transporte e apoio disponíveis (FERREIRA, 2013).

##### **2.1.1.1.1 Plano de fogo**

Para a realização de um plano de fogo torna-se necessário ser observados algumas variáveis, dependem do próprio projeto da lavra e britagem, dos equipamentos utilizados, das condições geológicas (tipo de rocha, fraturas, descontinuidades, etc), condições ambientais (áreas urbanas, presença de grutas e cavernas, áreas de preservação, etc.), explosivos e acessórios disponíveis. Os

parâmetros básicos de um plano de fogo para lavra a céu aberto são os expressos abaixo (MINEROPAR, 2008):

- espaçamento: distância lateral entre furos consecutivos na mesma linha;
- afastamento: distância entre a face livre da rocha e a primeira linha de furação e/ou entre linhas de furação consecutivas;
- comprimento do furo: distância da superfície até atingir a altura projetada da bancada;
- inclinação do furo: ângulo formado com a vertical, que deverá ser executado o furo para carregamento dos explosivos e direcionamento do material;
- altura da bancada: altura projetada para a bancada;
- diâmetro: diâmetro do furo utilizado para carregamento com explosivos;
- sub-furação: comprimento adicional do furo além da linha da cota da praça ou de seu comprimento projetado, buscando garantia de fragmentação no fundo do furo afim de conformidade da praça;
- carga de fundo: carga destinada geralmente a um carregamento mais adensado de explosivo;
- carga de coluna: carga destinada geralmente a um carregamento menos adensado de explosivo;
- tampão: destinado a ser preenchido com pó da perfuração, pó de pedra ou outro material que venha a confinar o carregamento e impedir que os gases se expilam facilmente, parte superior do furo;
- comprimento final: comprimento do furo mais o da subfuração;
- razão de carregamento: quantidade de explosivo necessário para detonar certo volume de rocha;
- carga máxima de espera: carga total de explosivo que será detonado ao mesmo instante;
- amarração: sistema de sequência à detonação.
- número de linhas e furos: razão da produção de minério projetada.

### 2.1.1.2 Carregamento

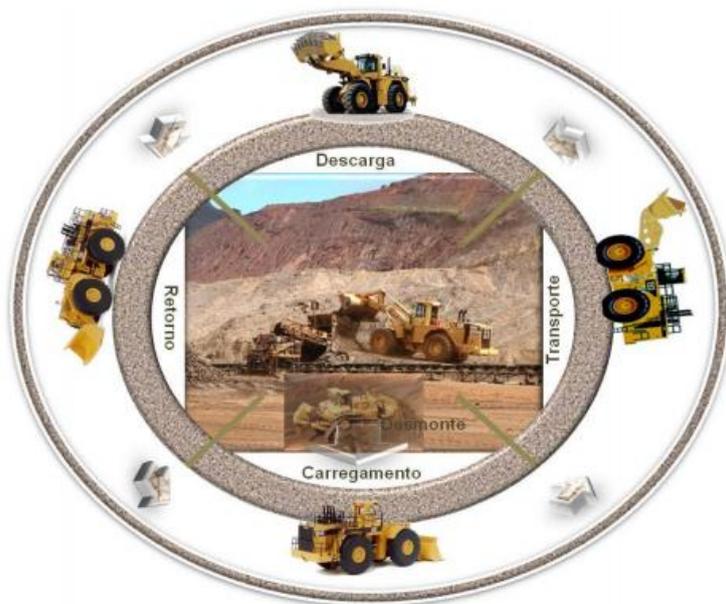
O processo de carregamento consiste no enchimento da caçamba do material dedesagregação, ou seja, que já sofreu o processo de desmonte, esse processo de carregamento deve ser efetuado pela lateral ou traseira do equipamento de transporte, sendo carregado um equipamento por vez (RICARDO e CATALANI, 2007).

Os equipamentos mais utilizados para as operações de carregamento são: escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, *motoscrapers*, dragas (BORGES, 2013).

De acordo com Silva (2011): o processo de carregamento de alguns equipamentos funciona da seguinte maneira. Conforme demonstra na figura 1.

- carregadeiras: é constituído de quatro movimentos: deslocamento para frente e carregamento da caçamba, deslocamento para trás, deslocamento para frente até o veículo e descarga, e por ultimo o retorno vazio.
- escavadeiras: enchimento da caçamba, giro carregado, descarga no equipamento de transporte e giro vazio.

Figura 1: Fluxo no processo de carregamento



Fonte: Lopes (2010)

Ainda segundo Silva (2011), é importante tomar alguns cuidados para otimizar os equipamentos de carregamento como:

- Dimensionamento correto da caçamba;
- Condições das bancadas, incluindo a altura correta para o equipamento de carregamento;
- Boa fragmentação: possibilidade de trabalhar com ciclos e cargas constantes;
- Praça em boas condições de trabalho.

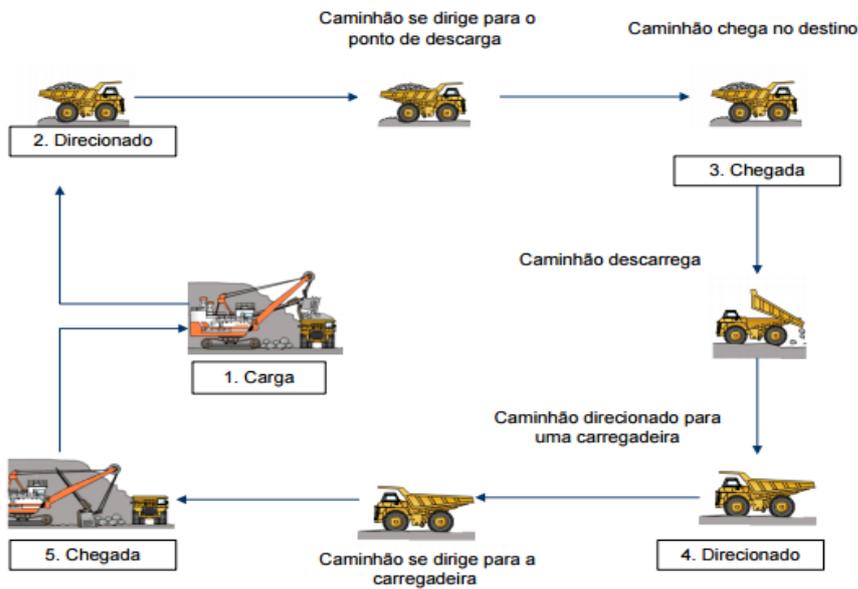
### **2.1.1.3 Transporte**

Na mineração existem vários métodos e sistemas de transporte de material, para Borges (2013), os mais comuns são o transporte por caminhões e transporte por correias. Já para Lopes (2010), o método de transporte por caminhões é o mais utilizado em todo o mundo.

Assim, a operação de transporte consiste em transportar o material extraído da jazida, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivos ou mecanicamente (tratores, escavadeiras ou carregadeiras, dependendo da resistência do material), o qual se direciona até diferentes pontos de descarga (britador, pilha pulmão, pilha de estéril).

A fase de transporte inicia quando os caminhões são direcionados até uma determinada frente de lavra, de forma que, os equipamentos de carga, que estão ali operando, retiram o material e posteriormente carregam os caminhões (QUEVEDO, 2009). A figura 1 caracteriza o movimento de caminhões nas operações de carregamento e transporte.

Figura 2: Fluxo do processo de carregamento e transporte



Fonte: Quevedo (2009).

Deve-se considerar que para garantir a produtividade dos equipamentos de transporte, é necessário mantê-los sempre em produção, evitando filas e ociosidade. Para evitar a ocorrência desses fatos, torna-se importante que se tenha um bom dimensionamento das frotas dos caminhões e da capacidade de transporte, assim podendo otimizar o processo (FERREIRA, 2013).

#### 2.1.1.4 Auxiliares

São equipamentos destinados a darem suporte nas operações da mina. Que são eles: moto-niveladora, carregadeira/retroescavadeira de pequeno porte, caminhão pipa, trator de esteira, entre outros (JESUS, 2013).

Para a realização do dimensionamento, ao contrario do dimensionamento dos outros equipamentos os auxiliares não tem muitos parâmetros a serem seguidos, podendo, portanto, variar muito de mina para mina, cabe ao dimensionador observar o atual cenário financeiro da empresa e do mundo, para escolher quais equipamentos são ideais para a empresa buscando sempre o menor custo possível (JESUS, 2013).

## **2.2 Equipamentos Empregados na Lavra**

Neste tópico serão apresentados equipamentos empregados na mineração, com intuito de mencionar sua empregabilidade e funções. Apesar de numerosos os exemplos aqui expostos, estão de certa forma resumida, apresentando apenas as principais características.

### **2.2.1 Equipamentos**

Após o aparecimento dos equipamentos mecanizados e até mesmo depois, o movimento de terra continuou-o ser realizado pelo homem através de ferramentas tradicionais como: picareta utilizada para corte, a pá com finalidade de fazer o carregamento e carroças puxadas por animal servia como transporte. Para essa execução desses trabalhos necessitava de mão de obra abundante e barata, mas com o desenvolvimento tecnológico e social se tornando cada vez mais escassa e onerosa (RICARDO e CATALANI, 2007).

Com o surgimento dos equipamentos mecanizados, causado pelo desenvolvimento tecnológico, em razão de sua alta produtividade, pode-se ter preços mais competitivos e agilidades nas operações de perfuração, escavação, carregamento e transporte, apesar do alto custo de aquisição dos equipamentos (RICARDO e CATALANI, 2007).

Na fase de elaboração de um projeto de lavra, faz-se necessário um estudo para o dimensionamento dos equipamentos e instalações que irão operar na mina, tendo por base a produção determinada (FERREIRA, 2013).

A divisão desses equipamentos pode ser realizada em cinco principais categorias:

- 1.** Unidades escavo-empurradoras;
- 2.** Unidades escavo-carregadoras ;
- 3.** Unidades de transporte ;
- 4.** Unidades de perfuração.

### 2.2.1.1 Unidades de escavo-empurradoras (Tratores)

Corresponde ao trator de pneus ou esteira, adaptado com implemento de uma lâmina à frente do trator que o transforma numa unidade capaz de escavar e empurrar a terra, denomina-se trator de lâmina ou bulldozer (RICARDO e CATALANI, 2007). As figuras 3 e 4 iram exemplificar as unidades de escavo-empurradoras.

A tabela 1 a seguir expressa algumas comparações são expressas entre o trator de esteira e de pneus.

Tabela 1: Características das unidades de tração

Características	Trator de Esterira	Trator de Pneu
Esforço Trator	Elevado	Elevado, limitado pela aderência
Aderência	Alta	Baixa
Veloci. de deslocamento	Baixa	Alta
Flutuação	Boa	Baixa
Balanceamento	Bom	Bom

Fonte: Ricardo e Catalani (2007)

Figura 3: Trator de esteira “*bulldozer*”.



Fonte: Caterpillar (2015)

Figura 4: Trator de pneus “bulldozer”.



Fonte: Caterpillar (2015)

A parte dianteira do trator é composta por uma lâmina de seção transversal curva para facilitar a operação de desmonte e na parte inferior a ferramenta de corte, chamada faca da lâmina (RICARDO e CATALANI, 2007). A figura 5 demonstra a utilização da lâmina.

Figura 5: Utilização da lâmina “bulldozer”.



Fonte: Caterpillar (2015)

Na parte traseira do equipamento caso necessário, pode ser adaptado um implemento chamado de escarificador, constituído de um ou mais dentes reforçados, com pontas cortantes, utilizado para romper os solos muito compactos, para que em seguida possa ser emperrado pela lâmina (RICARDO e CATALANI, 2007). A figura 6 ilustra a utilização da lâmina.

Figura 6: Utilização do escarificador “bulldozer”



Fonte: Caterpillar (2015)

### **2.2.1.2 Unidades escavo-carregadoras**

São equipamentos com finalidade de escavar e carregar o material em outro equipamento de transporte, que o levará até o local de descarga desejado, realizando assim o ciclo básico, composto de quatro operações, executado apenas por duas máquinas diferentes. As máquinas designadas são representadas pelas carregadeiras e escavadeiras, apesar da construção bem diversa, realizam as mesmas operações de escavação e carregamento (RICARDO e CATALANI, 2007).

#### **2.2.1.2.1 Escavadeiras**

As escavadeiras são máquinas de escavação que trabalham estacionadas, isto é, realizando o enchimento de sua caçamba ou concha sem a necessidade de se deslocar do local, portanto sua estrutura se destina apenas a permitir o

deslocamento, sem, contudo participar do ciclo de trabalho, podendo ser montada sobre trilhos, esteiras e rodas (RICARDO e CATALANI, 2007).

As escavadeiras podem ser divididas em vários grupos conforme o seu porte e a finalidade em que as mesmas são empregadas. As mais empregadas na mineração são as escavadeiras montadas sobre esteiras (FERREIRA, 2013).

Ainda segundo o mesmo autor, as escavadeiras que mais são empregadas na mineração são a escavadeira hidráulica, a escavadeira “*shovel*” e a escavadeira “*drag-line*”, ilustrada nas imagens 7 e 8.

Figura 7: Modelo de escavadeira



Fonte: Caterpillar (2015)

#### **2.2.1.2.2 Escavadeira “*Drag-line*”**

As escavadeiras do tipo “*drag-line*” são compostas por uma longa lança acoplada a polias e cabos de aço que realizam a escavação arrastando a caçamba sobre o material que está sendo escavado. Quando cheia, a caçamba é levantada e girada no ar até o ponto de descarga. Nesse ponto, pela ação de um cabo de controle, a caçamba deverá estar invertida, ficando com sua boca para baixo, despejando assim do seu interior o material (RICARDO e CATALANI, 2007). A figura 8 destaca um modelo de “*Drag-line*” em operação.

Figura 8: Modelo de “*Drag-line*” em operação



Fonte: Caterpillar, (2015)

Segundo JAWORSKI (1997), os principais locais de emprego da escavadeira “*Drag-line*” são:

- Desmonte de capas de jazidas e pedreiras;
- Abertura de valas e canais;
- Desobstrução de rios;
- Extração de areia e pedregulho de cavas.

### 2.2.1.3 Carregadeiras

São equipamentos que também podem ser chamados de pás-carregadeiras, podendo ser montadas sobre rodas pneumáticas ou esteiras. As mais utilizadas são as carregadeiras com caçamba frontal, a qual é acionada através de um sistema de braços articulados, instaladas na parte dianteira do equipamento. No momento do carregamento dos equipamentos de transporte, as carregadeiras que se deslocam entre o talude de material desejado a ser carregado e o veículo de transporte, sendo que para formar um ciclo completo será necessário empregar dois movimentos à frente e dois a ré (RICARDO e CATALANI, 2007).

As carregadeiras montadas sobre pneus apresentam certas vantagens, uma das principais vantagens é a velocidade de deslocamento, resultando em grande mobilidade e dispensando a utilização de carretas para fazer o transporte ao

contrário das máquinas de esteiras. Em contrapartida, a tração sobre pneus revela-se deficiente, em especial na fase de escavação, contendo ainda baixa capacidade de suporte (RICARDO e CATALANI, 2007).

A figura 9 e 10 exemplificam modelos de pá-carregadeira sobre pneus e sobre esteiras.

Figura 9: Modelo de pá-carregadeira sobre pneus



Fonte: Caterpillar (2015)

As carregadeiras de pneus são destinadas a trabalho em terrenos mais firmes, de baixa umidade, limitando sua aplicação ao corte e carga de materiais de fácil desagregação ou já desagregado, ao contrário das carregadeiras sobre esteiras (RICARDO e CATALANI, 2007).

Figura 10: Modelo de pá-carregadeira sobre esteira



Fonte: Caterpillar ( 2015)

### 2.2.2 Unidades de Transporte

São utilizados na mineração quando a distância entre o local de carga e descarga é grande. Portanto, para grandes distâncias deve-se optar por equipamentos mais leves e que proporcionam alta produção, apesar da necessidade de um número elevado de unidades (RICARDO e CATALANI, 2007).

Ferreira (2013) destaca que: os equipamentos que são mais empregados na mineração para fim de transporte são os caminhões basculante comum, os caminhões articulados e os caminhões fora de estrada ou “*off-roads*”, os quais estão expostos das figuras 11 e 12.

Os caminhões com capacidades menores são indicados para mineradoras de pequeno e médio porte.

Figura 11: Modelo de caminhão comum de mineração



Fonte: Scania (2015)

Os caminhões fora-de-estrada se constituem de veículos construídos e dimensionados especialmente para serviços pesados de mineração ou construção, por esse e outros motivos que não devem transitar em estradas normais. A sua velocidade máxima não ultrapassa a casa de 60 km/h (RICARDO e CATALANI, 2007). Segundo o manual de fabricante da Caterpillar, dependendo do modelo a velocidade máxima pode chegar até a 80 km/h carregado.

Figura 12: Modelo fora de estrada ou “off-roads”



Fonte: Caterpillar (2015)

### 2.2.3 Unidades de perfuração

As perfuratrizes são utilizadas para realizar furos para fins de uso na mineração, classificam-se em: percussiva, rotativas, percussivo-rotativas e de furo baixo (RICARDO e CATALANI, 2007).

Sua locomoção pode ser realizada de varias maneiras, variando entre os modelos existentes de perfuratrizes, podendo ser manuais, realizando o deslocamento manualmente para pequenas distâncias, ou sobre caminhões para longas distâncias, porem a mais utilizada é a perfuratriz sobre trator que apresenta tração própria. A qual tem maior aceitação para escavação de rochas a céu aberto, tendo uma unidade tratora especialmente construída para receber o avanço e a perfuratriz. Esse equipamento possibilita perfuração em diversos ângulos e na horizontal, por ser dotado de esteira possibilita seu deslocamento em terrenos íngremes e desfavoráveis, conforme o modelo da figura 13 (RICARDO e CATALANI, 2007).

Figura 13: Modelo de perfuratriz MD5050



Fonte: Catepillar (2015)

O ar comprimido é utilizado em todos os equipamentos de perfuração, das perfuratrizes leves manuais até as grandes máquinas a energia de perfuração é produzida pelo ar comprimido. O acionamento dos tratores, sobre as quais são montadas as perfuratrizes, é feito principalmente através do ar comprimido (RICARDO e CATALANI, 2007).

Sendo oferecido por compressores de ar que são máquinas que aspiram o ar da atmosfera, comprimindo-o, reduzindo seu volume e aumentando a pressão. O abastecimento é realizado através de mangueiras flexíveis ou tubos metálicos (RICARDO e CATALANI, 2007).

Esses motores podem ser estacionários ou portáteis, dependendo do tempo de duração do serviço. Os estacionários são utilizados para obras de longa duração, com prazo quase sempre superiores a dois anos podendo ser motores elétricos ou a diesel. A figura 14 expõem um compressor de ar comprimido portáteis.

Figura 14: Modelo de compressores de ar portáteis de médio porte



Fonte: Atlas Copco ( 2015)

### 2.3 Premissas para Dimensionamento de Equipamentos

Para dar início a um correto dimensionamento de equipamentos de lavra a céu aberto é necessário ter em mãos algumas informações do projeto, desde a vida útil do projeto até informações sobre a natureza do solo (JESUS, 2103).

### 2.3.1 Compatibilidade dos Equipamentos

Ao selecionar os modelos de equipamentos que iram ser empregados, atendendo as condições específicas de trabalho, deve-se também selecionar a capacidade desses equipamentos, que iram desenvolver os trabalhos em conjunto, buscando uma maior eficiência geral (SILVA, 2011).

Levada em consideração estas restrições, a compatibilização dos equipamentos que operam conjugalmente, deverá atender a outros parâmetros que poderão afetar a eficiência da operação, tais como:

- A quantidade de caçambada que o equipamento de carregamento efetivará para encher o caminhão. O número que representa um bom equilíbrio varia de 3 a 5 caçambadas. Um número menor seria preferível, contando que:
- Grande diferença de tamanho de caçamba entre a unidade de carregamento e transporte poderá ocasionar impactos sobre a estrutura do veículo e derramamento da carga;
- O tempo de carregamento não pode ser de forma tão ligeira que ocasione espera da unidade de carregamento para o seguinte carregamento.
- Se o número de caminhões for muito pequeno poderá ocasionar ociosidade da unidade de carregamento, mas se o a frota de caminhões for muito grande poderá ocasionar fila no carregamento.
- O número excessivo de unidades da frota, ocasionando dificuldades de tráfego, manutenção, etc.

Os conceitos na seleção primária dos equipamentos mais expressivos são:

- composição geológica do depósito;
- demanda de produção;
- tempo de vida útil do projeto;
- disponibilidade financeira;
- custo operacional;
- parâmetros geotécnicos;
- retorno dos recursos;

- danos ao meio ambiente.

Contudo, para uma escolha sucedida na seleção de equipamentos de carregamento e transporte, esses devem ser selecionados de forma integrada, buscando a compatibilidade entre estes, a fim de otimizar a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção (BORGES, 2013).

### **2.3.2 Produtividade dos Equipamentos**

A produtividade dos equipamentos de perfuração, carregamento e transporte dependem do projeto e planejamento da lavra seja elaborado adequadamente à jazida e aos equipamentos utilizados no beneficiamento. Portanto, a quantidade e tipo de equipamentos empregados e sua produtividade dependem dos seguintes parâmetros, listados por (SILVA, 2011).

- cubagem da jazida: método de lavra, vida útil da mina, taxa de produção;
- planejamento da lavra: frentes de lavra simultâneas, relação estéril/minério, deslocamento entre as frentes de lavra;
- destino do minério: levando em consideração as dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério que está sendo transportado, tais como britadores, pilhas pulmão, silos etc.
- infra-estrutura de suporte: locais de manutenção, de abastecimento, comunicações etc.;
- projetos de estradas: largura das estradas (devem ter de 3 a 3,5 vezes a largura do veículo mais largo que irá transitar, curvas com boa visibilidade e largas, inclinação das rampas de acesso, superfície de rolamento;
- equipamentos de apoio: aberturas e manutenção de estradas e frentes de lavra, desmonte de minério e estéril;
- projeto da cava: altura das bancadas, largura das praças, diferença topográfica entre a frente de lavra e trajeto dos caminhões;

- tipo da rocha: características do minério e do estéril, tais como densidade, umidade, resistência a escavação ou detonação, empolamento, grau de fragmentação;
- projeto de depósito de estéril: local de localização do material, forma de disposição.

## 2.4 Parâmetros de produtividade dos equipamentos

Para o correto dimensionamento dos equipamentos e suas produtividades em uma mina a céu aberto, é necessário, primeiramente, a definição e conhecimento de alguns termos técnicos que tratam de características importantes de cada equipamento de carregamento, transporte e perfuração. Os cálculos de estimativa de produtividade dos equipamentos de mineração são indispensáveis no processo de seleção de equipamentos.

Para os cálculos de estimativa de produção é necessário considerar alguns conceitos fundamentais, listados e descritos por SILVA (2011):

### A. Empolamento (e)

É o aumento aparente de volume em relação ao estado natural que se encontrava, ou seja, quando uma rocha é fragmentada ela aumenta o seu volume devido aos vazios encontrados dentro das partículas.

Pode-se calculá-lo utilizando as seguintes fórmulas:

$$Em = \frac{V_s}{V_I} \quad (1)$$

Ou

$$Em = \frac{\gamma_I}{\gamma_S} \quad (2)$$

Onde:

$V_s$  = Volume do material fragmentado;

$V_I$  = Volume do material “in situ”;

$\gamma_I$  = Peso específico do material “in situ”;

$\gamma_s$  = Peso específico do material fragmentado.

A tabela 2 expõem valores que podem ser utilizados na hora de executar os cálculos:

Tabela 2: Pesos específicos, fator de conversão e empolamento de materiais:

MATERIAL	Solto kgf/m <sup>3</sup>	Corte kgf/m <sup>3</sup>	F	e %
Argila natural	1 661,0	2 017,0	0,82	21
Argila seca	1 483,0	1 839,0	0,8	25
Argila molhada	1 661,0	2 076,0	0,8	25
Terra úmida	1 602,0	2 017,0	0,79	26
Terra seca	1 513,0	1 899,0	0,79	26
Arenito	1 513,0	2 522,0	0,59	69
Areia seca solta	1 424,0	1 602,0	0,88	13
Areia molhada	1 839,0	2 077,0	0,88	13
Pedra brita	1 602,0	2 670,0	0,6	66
Terra úmida 50% rocha				
50%	1 721,0	2 284,0	0,75	33
Pedras soltas até 20 cm $\varnothing$	1 340,0	2 670,0	0,55	100

Fonte: Jaworski (1997)

## B. Enchimento da caçamba (Fill Factor)

Fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba e que, basicamente, será função das características do material, e ou das condições dos desmontes, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento.

$$F_{Enc} = \frac{V_{TT}}{V_{RT}} \quad (3)$$

Onde:

$V_{TT}$  = Volume teórico transportado;

$V_{RT}$  = Volume real transportador.

### C. Volume da caçamba (V<sub>c</sub>)

Fator que deve apresentar a capacidade operacional, coroada ou rasa conforme a situação, do equipamento de carregamento e transporte.

- Rasa: quando a capacidade nominal não é atingida, devido a fatores de operação que não permitem o completo preenchimento da caçamba.

- Coroada: quando se explora ao máximo a capacidade de um equipamento, mesmo que seja pouco provável ser operacionalmente viável;

$$V_c = \frac{\text{(carga máxima admissível na caçamba)}}{\text{(peso específico do material solto)}} \quad (4)$$

### D. Carga de tombamento (tipping-load)

É a carga que poderá ocasionar o tombamento do equipamento, ocasionado pelo mau posicionamento fazendo com quem o mesmo perca o equilíbrio e venha a tombar.

### E. Carga útil (pay-load)

Se define como a carga de material que o equipamento pode carregar sem por em risco as condições de segurança, não podendo ultrapassar 80% da carga necessária para desestabilizar ou pôr em risco a operação (80% da carga de tombamento).

### F. Operação conjugada

Trata-se do tempo que o equipamento não está produzindo, causada pelas esperas do equipamento que ele opera dependentemente.

A produção máxima possível de frotas em operação conjugada pode ser obtida pela análise da disponibilidade das frotas. A distribuição binomial é utilizada no cálculo a fim de dimensionar frotas de equipamentos:

$$P_N = P_{ed} \times P_{ned} \times C_r^n \quad (5)$$

Onde:

$P_n$  = possibilidade de ter n unidades disponíveis;

$P_{ed}$  = possibilidade de uma unidade estar disponível;

$P_{ned}$  = possibilidade de uma unidade não estar disponível;

$C_{nr}$  = combinação de itens tomados, sendo r em um certo tempo.

### G. Disponibilidade do equipamento

Quantidade de horas disponíveis existentes para utilizar o equipamento durante um determinado período. Fatores tais como má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade pode ser:

- I. Mecânica: que considera as horas possíveis de serem trabalhadas menos as horas de manutenção (preventiva, corretiva e preditiva);

$$Dm = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

$Dm$  = Disponibilidade Mecânica;

$HT$  = Horas teóricas disponíveis em um ano;

$MP$  = manutenção preventiva, compreendendo conservação e inspeção dos equipamentos;

$MC$  = manutenção corretiva ;

$TP$  = tempo perdido compreende a paralisação da maquina (almoço, café, troca de turno do operador, entre outros);

- II. Física: corresponde a quantidade de horas programadas em que o equipamento está hábil para operar, isto é, não está na manutenção;

$$DF = \frac{HP - HO}{HP} \quad (7)$$

Onde:

DF = disponibilidade física: representa o percentual de tempo que o equipamento fica à disposição para a produção;

HP = horas calculadas por ano: com base na quantidade de turnos, levando em consideração a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HO = horas de consertos de equipamentos na oficina ou no campo.

## H. Utilização do equipamento

Quantidade de horas que o equipamento se encontra disponível, isto é, as horas que o equipamento está produzindo. Existem fatores que interferem na utilização de um equipamento como:

- preparação de frente de lavra;
- perfuração e detonação da rocha na mina;
- falta de eficiência do operador;
- carência de mão-de-obra;
- paralisação de outros equipamentos;
- fatores climáticos que interferem na operação;
- quantidade de unidades ou dimensões inadequadas.

$$U = \frac{HT}{HP - HO} \quad (8)$$

Onde:

U= Utilização

HT = total de horas efetivamente trabalhadas;

HP = horas calculadas por ano: com base na quantidade de turnos, levando em consideração a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HO = horas de consertos de equipamentos na oficina ou no campo.

## I. Rendimento

É a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e o número de horas que o equipamento fica à disposição da obra para execução de uma tarefa.

## J. Tempo de ciclo

Conjunto de operações que um equipamento executa numa certa quantidade de tempo, finalizando com o equipamento retornando ao ponto que se iniciou o ciclo.

Sendo assim o intervalo decorrido entre duas passagens consecutivas da máquina por qualquer ponto do ciclo, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento, etc.

- I. **Tempo de ciclo mínimo:** é a somatória de todos os tempos elementares, de que resulte o menor tempo de ciclo, em que a tarefa pode ser executada.

$$T_{min} = \sum T_f + \sum T_v \quad (9)$$

Onde:

$$\sum T_f = \text{somatória dos tempos fixos (carga, descarga, manobra);}$$

$$\sum T_v = \text{somatória dos tempos de transporte carregado ou vazio (retorno).}$$

- II. **Tempo de ciclo efetivo:** é aquele gasto realizado pelo equipamento para executar o ciclo de operação, computados os tempos de paradas ( $t_p$ ) que ocorrem necessariamente no decurso de muitos ciclos.

$$T_{cef} = T_{cmin} + \sum T_p \quad (10)$$

Onde:

$$\sum T_p = \text{somatória dos tempos perdidos}$$

## K. Eficiência de operação (E)

Entende-se por percentual das horas realmente trabalhadas em relação às horas programadas, portanto, é de extrema importância manter a produção constante, resultando em maior lucratividade.

Se não houvesse perda de tempo na jornada diária de trabalho, a eficiência seria de cem por cento (100 %) e o valor do fator E, alcançaria a unidade (1,0):

- falta do equipamento de transporte;
- paralizações ocasionadas pelo britador;
- características do material;
- interrupções para limpeza da praça;
- supervisão no trabalho;
- capacidade da caçamba de máquina de carregamento;
- qualidade do desmonte de rochas;
- habilidade do operador;
- pequenas interrupções devido a defeitos mecânicos, não computados na manutenção.

$$E = \frac{T_{c_{\min}}}{T_{c_{ef}}} = \frac{T_{c_{\min}}}{T_{c_{\min} + \sum Tp}} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{\sum Tp}{T_{c_{\min}}}} \quad (11)$$

Se  $\sum Tp = 0 \Rightarrow E = 1$  ou  $E = 100\%$

Se  $\sum Tp \neq 0 \Rightarrow E < 1$  ou  $E < 100\%$

Onde:

$T_{c_{\min}}$  = tempo de ciclo mínimo;

$T_{c_{ef}}$  = tempo de ciclo efetivo;

$Tp$  = tempo perdido.

#### L. Resistência de rampa

É a força paralela ao terreno que se opõe a locomoção dos veículos e equipamentos nos aclives, é preciso superar essa força para movimentar a máquina em rampas desfavoráveis, já em rampas favoráveis, devido à gravidade, ajuda na movimentação da máquina (declives).

Essa resistência deve ser considerada para os equipamentos de rodas e de esteiras. Nos declives essa força se soma a força de tração e é denominada de assistência de rampa. A resistência de rampa pode ser designada pela sigla RRA.

O Fator de Resistência de Rampa (FRR) é expresso em kgf/t.

$$FRR = Kgf \times \% \text{ de rampa} \quad (12)$$

Com a formula a seguir obtém-se a resistência a rampa.

$$RR = FRR \times PBV \quad (13)$$

Onde:

RR= resistência a rampa

FRR= fator de resistência de Rampa

PBV= massa da máquina em toneladas

### M. Resistência ao rolamento

Considerá-la como a força horizontal mínima que deverá ser aplicada ao equipamento para iniciar o movimento sobre uma superfície plana, horizontal, contínua e indeformável. Essa resistência é consequência dos atritos internos, associada à flexão dos pneus e a penetração dos pneus no solo.

É fundamental realizar a manutenção das estradas, assim se terá uma velocidade de deslocamento maior e reduzindo também os gastos dos pneus.

Outro fenômeno que ocorre e influência é o afundamento, que acontece devido a pressão de contato, deforma o terreno, aumentando a superfície de contato, produzindo a penetração do pneu, até que se estabeleça o equilíbrio entre a pressão existente e a capacidade de suporte do terreno (RICARDO e CATALANI, 2007).

$$Rr = K \times PBV \quad (14)$$

$$K = 20 + 6a \quad (15)$$

Onde:

Rr = resistência ao rolamento;

PBV = Peso bruto do veículo (kgf);

K = coeficiente de rolamento (kgf/t);

a = afundamento (cm).

A tabela a seguir resume os coeficientes de rolamento para vários tipos de terrenos.

Tabela 3: Coeficientes de rolamento para vários tipos de terrenos

Superfície do terreno	Afundamento a (cm)	K (Kgf/t)
Asfalto ou concreto	0	20
Terra seca, firme	1,6	30
Terra seca, solta	3,2 - 6,7	40 – 60
Terra seca e arada	10	80
Aterro sem compactação	10	80
Areia solta e seca	13,3	100
Terra muito úmida e mole	23,3	160
Terra argilosa muito úmida	26,6	180

Fonte: Ricardo e Catalani (2007)

## N. Produção de um equipamento

O rendimento da operação é afetado diretamente pelos tempos de paradas, concluí-se que o aumento de produção será conseguido pela diminuição destes.

Para se calcular a produção de qualquer equipamento é necessário o auxílio da fórmula, a qual será expressa abaixo.

$$Q_{ed} = C \times \varphi_1 \times \frac{1}{T_{c_{min}}} \times E \quad (16)$$

Onde:

$Q_{ed}$  = produção efetiva, medida no corte (m<sup>3</sup>/h);

$C$  = capacidade da caçamba, em volume solto (m<sup>3</sup>);

$\varphi_1$  = fator de empolamento ou de conversão de volume;

$T_{c_{min}}$  = tempo de ciclo mínimo (horas ou minutos ou segundos);

$E$  = coeficiente de rendimento da operação ou fator de eficiência.

## 2.5 Operações no ciclo de produção

No processo de extração mineral há um número definido de tarefas básicas e fundamentais cuja reprodução satisfatória e repetitiva constitui o ciclo de mineração. Estas tarefas básicas são agrupadas e formam unidades de operação tais como operação de produção, auxiliares e entre outros, identificando assim, o processo em que cada tarefa está associada (JUNIOR, 2012).

Para maximizar a produtividade e minimizar os custos é necessário que o desenho da cava seguisse algumas premissas básicas.

- para diminuir perdas e danos em equipamentos de grande porte, utiliza-se mais de um equipamento, diminuindo também os custos de aquisição;
- a produtividade de cada elemento de operação está associada à sua respectiva interação com sua unidade de produção e o ciclo de mineração;
- é necessário que as unidades de operação estejam ligadas de tal forma que garantam o contínuo fluxo de material através de todas as unidades.
- o *layout* da mina deve ajudar a minimizar os movimentos não produtivos das máquinas;

Para uma mineração a céu aberto genérica, pode-se montar o ciclo de operações contidas na Tabela 2:

Para montar o ciclo de operação de uma mineração a céu aberto seguisse a tabela 4.

Tabela 4: Ciclo de operações de uma mina a céu aberto genérica

<b>PASSOS DAS UNIDADES DE OPERAÇÃO:</b>
<p>1. Instalar controle de erosão e de sedimentos: Os passos 1 e 2 são realizados apenas quando mineradas novas áreas. Proceder para o passo 3 se entrando em região já explorada.</p> <p style="padding-left: 40px;">a. Valas, desvios, terraços e canais;</p> <p style="padding-left: 40px;">b. Lagoas.</p>
<p>2. Decapeamento do estéril</p> <p style="padding-left: 40px;">a. Depositar em pilhas temporárias para futura recuperação de área;</p>

<p>b. Depositar diretamente para recuperação de área.</p>
<p>3. Preparação da bancada para perfuração: Se o material for suficientemente friável a ponto de não necessitar de desmonte por detonação, então passar para o passo 6.</p> <p>a. Acertar a bancada com escavadeira;</p> <p>b. Inspecionar as cristas das bancadas para verificar a existência de grandes blocos de rochas que possam se desprender;</p> <p>c. Levantamento e marcação dos furos.</p>
<p>4. Perfuração dos furos de detonação</p>
<p>5. Detonação</p> <p>a. Carregamento dos explosivos nos furos de detonação;</p> <p>b. Conectar os furos de detonação com cordel detonante ou outros detonadores de forma a gerar a sequência de explosão desejada;</p> <p>c. Detonar no momento mais seguro para fazê-lo.</p>
<p>5. Carregamento do material fragmentado: O material fragmentado será carregado através do equipamento de carregamento.</p> <p>a. Em pedreiras ou em minas a céu aberto, o carregamento será realizado diretamente no equipamento de transporte.</p>
<p>7. Transporte de material</p> <p>a. Minério, carvão ou outro material de valor é transportado até o processo subsequente;</p> <p>b. O estéril é transportado para local de armazenamento definitivo;</p> <p>c. O transporte pode ser contínuo ou cíclico;</p> <p>i. Contínuo com o uso de transportadores de correias;</p> <p>ii. Cíclico com o uso de equipamento de carregamento e transporte em pequena distância.</p>
<p>8. Depósito de estéril e de rejeito</p> <p>a. Armazenamento do decapeamento e de outros materiais estéreis</p> <p>i. Pilhas de estéril;</p> <p>ii. Recomposição de áreas degradadas;</p> <p>b. Preparação do rejeito da usina</p> <p>i. Armazenagem em barragens de contenção de rejeitos;</p> <p>ii. Integração com o armazenamento do decapeamento.</p>

## 9. Recuperação de áreas

- a. Em cavas finais;
- b. Em pilhas de rejeito ao final da vida útil da mina.

10. Descomissionamento: não é realizado no final de todo ciclo. Pode começar a ser realizado em época favorável, após uma determinada área aproximar-se do término de sua vida útil.

- a. Revegetação
  - i. Com cobertura proveniente de vegetação temporária;
  - ii. Com cobertura proveniente de vegetação permanente.
- b. Manutenção até que o tempo necessário por lei seja atingido;
- c. Remoção do sistema de drenagem.

11. Retornar ao passo 1.

Fonte: Junior (2012)

## 2.6 Manutenções dos equipamentos

A manutenção é um conjunto de processos utilizados com finalidade de obter dos equipamentos condições de funcionamento que resultam na sua produtividade máxima e, ao mesmo tempo buscando o prolongamento de sua vida útil (RICARDO e CATALANI, 2007).

### 2.6.1 Manutenção mecânica

Enquanto a máquina é nova, o risco de defeitos mecânicos é muito pequeno e a produtividade do equipamento é elevada, mas com o passar do tempo aumenta a incidência de reparos mecânicos, com paradas longas que afetam negativamente a produção. As falhas mecânicas provêm das peças dos seus diversos sistemas, quando alguma parte vital é afetada ou danificada (RICARDO e CATALANI, 2007).

### 2.6.2 Manutenção corretiva

Segundo Ricardo e Catalani (2007), manutenção corretiva é aquela que se preocupa apenas em corrigir as falhas já detectadas e que prejudicam o funcionamento normal da máquina. Para Sabino, Agra e Tomi (2012), neste tipo de procedimento, é inevitável a perda de tempo ocasionada pela parada do

equipamento, sendo que apenas a partir de detectada quebra ou falha são executados os procedimentos para posta em operação dos ativos danificados.

A quebra de uma máquina básica no ciclo de operação, quando não substituída, pode interromper todo o ciclo, deixando vários outros equipamentos ociosos, aumentando assim o prejuízo (RICARDO e CATALANI, 2007).

### **2.6.3 Manutenção preventiva**

Tem por finalidade principalmente evitar ou prevenir a ocorrência de falhas mecânicas durante a operação, detectando os defeitos antes de sua manifestação e, sobretudo, evitando a ruptura de componentes fundamentais pela substituição sumária de peças que, já tenha um considerável número de horas trabalhadas ou desgaste máximo admissível, constituem um risco de quebra em curto prazo (RICARDO e CATALANI, 2007).

O emprego da manutenção preventiva significa grandes vantagens, porém, por ser um programa de implantação difícil e também de custo elevado, a sua aplicação em empresas de pequeno porte torna-se antieconômica.

Segundo Ricardo e Catalani (2007), esse programa é de difícil determinação na fixação da idade crítica das peças e dos limites de desgastes admissíveis. Para Sabino, Agra e Tomi (2012), ela é executada através de um planejamento prévio e específico para cada equipamento na mina, levando em consideração fatores como o tempo de vida útil da máquina, com vistorias programadas e a aquisição de informações periódicas. O enfoque principal é em torno de revisões ou inspeções periódicas, baseando-se no número de horas trabalhadas ou de quilômetros percorridos.

As informações necessárias podem ser encontradas nos manuais do fabricante. Para Ricardo & Catalani (2007), normalmente as verificações preventivas são realizadas a cada 100, 500, 1.000 e 4.000 horas, examinando os componentes ou sistemas mais sujeitos a problemas.

A cada 100 horas devem ser feita uma verificação simples, sendo reaperto dos parafusos, tensão das correias de acionamento, vazamento de óleo, etc. Chagada às 1.000 horas deve ser realizada uma inspeção mais detalhada do motor, transmissão e conversor de torque, freios, sistemas de direção, hidráulico e elétrico.

A 4.000 horas recomenda-se a revisão do motor, a desmontagem e inspeção do conversor de torque e da transmissão, etc, (RICARDO & CATALANI, 2007).

É importante ressaltar que essas verificações e inspeções devem ser realizadas ainda que a máquina não apresente anormalidades.

#### **2.6.4 Manutenção preditiva**

São exames periódicos de componentes e sistemas das máquinas para detectar possíveis falhas mecânicas, evitando-se dessa forma a ocorrência de quebras imprevistas que podem significar danos graves aos mecanismos. Segundo Lima (2006), a proposta da manutenção preditiva é fazer o monitoramento regular das condições mecânicas, eletroeletrônicas, eletropneumáticas, eletrohidráulicas e elétricas dos equipamentos e instalações e, ainda, monitorar o rendimento operacional de equipamentos e instalações quanto a seus processos. Como resultado desse monitoramento, tem-se a maximização dos intervalos entre reparos por quebras (manutenção corretiva) e reparos programados (manutenção preventiva), bem como maximização de rendimento no processo produtivo, visto que equipamentos e instalações estarão disponíveis o maior tempo possível para operação.

A análise periódica do óleo lubrificante do motor ou de qualquer outro sistema, o emprego de ultra-som ou do magma-flux para o exame de trincas internas em peças metálicas, são alguns dos procedimentos de manutenção preditiva (RICARDO E& CATALANI, 2007).

### **2.7 Custos operacionais**

São custos que normalmente estão ligados as operações de funcionamento da lavra, sendo divididos em três categorias: Os custos indiretos, custos diretos e custos gerais (JUNIOR, 2012).

#### **2.7.1 Custos indiretos**

São custos considerados independentes da produção, porém, podem variar de acordo com a produção planejada, entretanto não é uma relação inversa ou direta com a produção obtida. Seus componentes principais são:

- taxas, juros, seguros, etc;
- despesas com escritório;
- trabalho de pesquisa e gerais de preparação;
- mão-de-obra: Escritórios, almoxarifado, serviços administrativos, de vigilância.

### **2.7.2 Custos diretos**

Os custos diretos ou variáveis são considerados como os custos primários de uma operação ou realização de trabalho.

- materiais: consumíveis (água, lubrificantes, energia, explosivos, corpos moedores, reagentes químicos para o tratamento), peças de reposição;
- mão-de-obra: pessoas empregadas na operação e manutenção, isto é, quantidade de pessoas necessárias para produção e trabalhos associados.

### **2.7.3 Custos gerais**

Os custos gerais, não são considerados gastos de operação, mas sim um determinado processo ou operação a nível corporativo de um ciclo completo de produção. Nesses custos são incluídos:

- serviços financeiros;
- escritórios de projeto;
- pesquisa e desenvolvimento;
- despesas com comercialização;
- serviços administrativo da central.

D'Arrigo (2012), fala que para realização da estimativa do custo operacional é necessários alguns parâmetros, os quais serão listados a seguir:

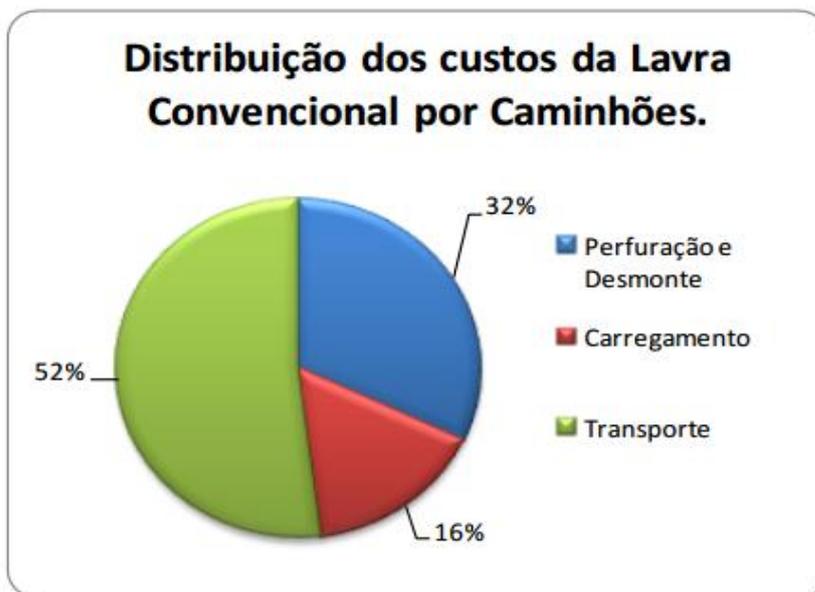
- método de lavra utilizado;
- rota entre a lavra e a planta de beneficiamento;
- produtividade da mão de obra nas diferentes operações em função dos equipamentos utilizados, as condições de escala de produção e da mina;
- Custos de mão de obra.

Os parâmetros listados dão obtenção aos custos diretos, já para determinação dos custos indiretos e gerais são empregados percentuais dos custos diretos ou de elementos de investimento como:

- Reparos e manutenções: de 2 a 5 % dos custos consumíveis (materiais);
- Custos gerais: 2 % do faturamento ou das vendas;
- Custos indiretos: de 10 a 30 % dos custos diretos.

A composição de custo das atividades unitárias de minas que operam pelo método convencional, que é a utilização de caminhões na lavra, divide seu custo da seguinte forma: 32% perfuração e desmonte, 16% carregamento e 52% como transporte com caminhões (TRUEMAN, *apud* LOPES, 2010) expresso na figura 15.

Figura 15: Distribuição dos custos de lavra convencional por caminhão



Fonte: Trueman (*apud* LOPES 2010)

O alto custo de transporte está relacionado ao consumo de combustíveis, geralmente de origem fóssil. Em média um caminhão gasta 50% de energia só para mover seu próprio peso, os outros 50% são para carga que está sendo transportada (LOPES, 2010).

### **3 MATÉRIAS E MÉTODOS**

A organização de desenvolvimento deste trabalho enfatizou sua natureza, a classificação e as etapas seguidas para obtenção dos resultados esperados. Quanto aos meios, a pesquisa é classificada como: bibliográfica, documental, experimental, participativa.

A classificação da pesquisa consistiu em tratar os meios e métodos que foram aplicados sobre os estudos, caracterizando um dimensionamento demonstrativo propriamente dito.

A pesquisa quantitativa é usada de forma predominante, tendo em vista que as análises se baseiam em dados matematicamente definidos. O objetivo exploratório foi proporcionar maior esclarecimento dos estudos necessários para realização de dimensionamento de equipamentos.

A fonte primária de dados foi o plano de lavra, que fornece toda base de informações necessárias para o início do dimensionamento. Os dados utilizados foram fictícios, construídos através de exemplos literários. Além disso, foram utilizados dados dos manuais dos fabricantes e bibliográficos, que serviram de referência e comparativo.

O levantamento bibliográfico baseou-se principalmente no livro escrito por Jesus (2013), (Dimensionamento de equipamento e custo operacional), juntamente com artigos, dissertações e livros de autores nacionais. Os quais foram apresentados anteriormente e aplicados como parâmetros principais na realização do trabalho.

#### **3.1 Desenvolvimento do Projeto**

Os parâmetros de dimensionamento propostos no referencial teórico foram apontados de forma sequencial ao decorrer do trabalho. Servindo com base de dados para a determinação dos equipamentos a serem utilizados, e a determinação de seus custos operacional, os quais foram determinados a partir dos cálculos expressos nas tabelas.

Outro passo foi à determinação do tempo de ciclo dos equipamentos, utilizando dados dos fabricantes e bibliográficos, a fim de buscar melhorias, seguindo parâmetros de tempo presentes na literatura para comparação.

A determinação das manutenções foram estipulados por meio da literatura e das necessidades presentes nos manuais de fabricação, buscando colocar em prática para minimizar as possibilidades de paradas por falhas mecânicas.

Após as análises dos dados e revisões bibliográficas serão apresentados os resultados.

## 4 DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DEMONSTRATIVO

Neste capítulo será realizado o dimensionamento de uma frota de equipamento das operações unitárias de lavra, utilizando dados fictícios de uma mineração de pequeno porte.

### 4.1 Descrição do caso

Este estudo tem como objetivo fazer uma aplicação prática do dimensionamento de equipamentos empregados nas operações unitárias de lavra de mina a céu aberto, a fim de encontrar a melhor relação custo e volume de produção, traçar o tempo de ciclo entre as operações e quais as manutenções a serem adotadas.

### 4.2 A Mina

O material estéril removido é depositado nas pilhas de estéril localizadas próxima as lavra. A remoção deste material ocorre de acordo com o avanço da lavra.

A mina tem como função principal fornecer material de qualidade e de forma continua para a planta de beneficiamento. Para isso é necessário planejar o sequenciamento de lavra para que as metas de produção possam ser atingidas.

Abaixo são apresentados os dados principais relacionados à mina. São eles:

- ✓ **Reserva Medida:** 20.000.000 toneladas;
- ✓ **Relação Estéril/Minério:** 1,00/2,00;
- ✓ **Densidade média in situ:** 1,4g/cm<sup>3</sup>
- ✓ **Capacidade Total Instalada ROM:** 2.100.000 t/ano;
- ✓ **Vida útil restante da Jazida/Mina:** 30 anos;
- ✓ **Produção anual:** 400.000 t/ano
- ✓ **Modalidade dos Métodos de Lavra:**
  - **Modalidade:** Céu Aberto
  - **Método:** Lavra por Bancada em Cava
- ✓ **Número de Frentes de Lavra:** 2;
- ✓ **Profundidade da Mina:**
  - **Atual:** 40 metros
  - **Projetada:** 80 metros

- ✓ **Faz uso de Explosivos:** Sim
- ✓ **Grau Mecanização:** Mecanizada
- ✓ **Turno de trabalho:** 8 horas/dia e 365 dias/ano
- ✓ **Distâncias Médias de Transporte:** 1.700m
- ✓ **Capacidade da planta de beneficiamento:** 2.100.000 t/ano

### **4.3 Plano de lavra**

Os planos de lavras são divididos em curto e longo prazo, onde curto prazo é o planejamento mensal e longo prazo o planejamento anual ou para cenários acima de um ano, devido à vida útil da mina.

O planejamento mensal apresenta o volume de massa a ser movimentada, tanto de minério quanto de estéril, em cada frente de lavra e com os seus teores.

Já no planejamento anual são consideradas as massas de minério e estéril a serem movimentadas a cada mês em cada cava considerando seus respectivos teores.

### **4.4 Fundamentos para adequação dos equipamentos aos projetos de cava**

A fim de adequar à viabilidade econômica da lavra, buscando diminuir a relação estéril/minério (REM), o projeto da cava contém algumas singularidades, que foram projetadas com bancadas com de 15 metros.

Essas características do projeto devem ser levada em consideração no dimensionamento da frota, os quais influenciam diretamente no raio de curvatura da curva, na largura e inclinação das rampas.

Portanto, os tamanhos dos caminhões ficam limitados ao seu raio de curvatura. O ponto importante é a quantidade de frentes de lavra, com distância de 1.700 metros em média até os pontos de descarga. Fazendo necessária a composição do ciclo ajustada entre equipamentos de carregamento e transporte, buscando diminuir ou evitar atrasos operacionais ocasionados por filas e/ou ociosidade dos equipamentos de carregamento.

Para um melhor deslocamento dos caminhões é necessário que se tenha boas condições das estradas, respeitando os limites operacionais dos equipamentos, os quais são pré-estabelecidos pelos fabricantes, assim pode-separa

que possa evitar gastos desnecessários com combustíveis, pneus e possíveis peças quebradas.

Alguns dos itens que devem ser levado em consideração para boas condições de estradas são:

- inclinação: podendo ser no máximo 15%;
- largura da estrada: para mão única três vezes e para mão dupla três vezes e meia, a largura do maior equipamento que por ali transite;
- drenagem da água: deve ser feita por canaletas alocadas nos pés dos taludes, onde a água escore pela inclinação do sentido leira-talude;
- leiras: são barreiras físicas construídas nas regiões de crista das encosta, com intuito de evitar acidentes mais graves, devendo conter altura mínima correspondente a metade do diâmetro do maior pneu que transita pela estrada.

A tabela 5 expõe os dados do projeto de cava utilizado, os quais são empregados nos cálculos.

Tabela 5: Premissas do projeto da cava

Projeto da cava	Metros
largura das estradas	12
largura das bermas	6
Altura da bancada	15
DTM	1700
Raio de curvatura da cava	12

Fonte: Elaborada pelo autor

#### 4.5 Modelo de carregamento e transporte utilizado

Como foi citada nas premissas do sistema adequado de carregamento e transporte, bem como a característica do minério e estéril, a quantidade de massa a ser movimentada por ano, o porte das cavas, o sistema de carregamento e transporte, que é composto por escavadeiras hidráulicas, utilizada no carregamento, e caminhões atuantes no transporte.

Para se adequar as características da cava, a composição da operação de carregamento e transporte será efetuada por escavadeiras hidráulicas e caminhões, restando apenas dimensionar a capacidade de produção e quantidade de equipamentos ideais para a formação do ciclo de operação conjugada. Para a

realização desse dimensionamento serão utilizados os conceitos fundamentais expostos anteriormente, como fatores de utilização, disponibilidade física, capacidade de carga, e alguns mais, observando também os dados de massas e horas de trabalho, as distâncias médias de transporte, fatores os quais servirão para o dimensionamento ótimo da frota de equipamentos.

#### 4.6 Indicadores de produção

Os indicadores de produção estão entre os principais índices de controle de um sistema de produção. Para dimensionar a frota de equipamentos das operações unitárias de lavra deste caso, serão utilizados os principais indicadores, como:

Fator de Disponibilidade Física: mede a porcentagem de horas que o equipamento estava disponível para operação, com relação às horas totais. A tabela 6 expõem os fatores que devem ser levado em consideração para calcular a disponibilidade do equipamento.

Tabela 6: Disponibilidade do equipamento

<b>Diponibilidade Física</b>	<b>Ano 1</b>
Dias no ano	365
horas por dia	8
Revisão de 250 h	4
Revisão de 500 h	6
Revisão de 1000h	10
Revisão corretiva/ dia (h)	1
Quanti. De hora revis. 250h	12
Quanti. De hora revis. 500h	6
Quanti. De hora revis. 1000h	3
Total de horas revi. 250	46,72
Total de horas revi. 500	35,04
Total de horas revi. 1000	29,2
Total de horas corretiva	365
<b>Disponibiliade do equipamento</b>	<b>84%</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Fator de Utilização: mede a porcentagem das horas disponíveis as quais o equipamento poderá ser utilizado. A tabela 7 expõem os fatores que devem ser levados em consideração para calcular a utilização do equipamento.

Tabela 7: Utilização do equipamento

<b>Utilização</b>	<b>Ano 1</b>
Diponibilidade física (%)	0,84
Dias do ano trabalhados	365
Quantidade de turnos	1
Horas por turno	8
Horas para o almoço	1
Troca de operador (h)	0
Horas com a máq. parada	150
Horas com a máq. Em treina.	2
Horas paradas gerenciais	12
Horas paradas p/detonação	75
Horas perd. Com sazonal.	180
<b>Útilização anual</b>	<b>68%</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

O rendimento é a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas. Portanto o rendimento é o produto da disponibilidade física pela utilização. A tabela 8 expõe o rendimento em função do produto da disponibilidade física pela utilização.

Tabela 8: Rendimento da operação

<b>Dados de Tempo</b>	<b>Ano 1</b>
Quant. Dias ano	365
Quant. Horas dia	8
Utilização	68%
Disponibilidade	84%
<b>Redimento</b>	<b>57%</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Neste trabalho como dito anteriormente, alguns dados são fictícios, como os indicadores de produção, as distâncias, largura e raio de curvatura, ou seja, todos os dados que compõem o processo de lavra, já os dados dos equipamentos são obtidos dos manuais de fabricantes.

#### **4.7 Dimensionamento dos equipamentos**

Para os cálculos de estimativas de produção para as operações conjugadas de perfuração, carregamento e transporte, e sabendo da grande utilidade e retorno de resultados, se usado corretamente, com dados bem tratados e fiéis à realidade

de cada mina, o presente trabalho utilizará como principal ferramenta para construção e otimização de cenários os recursos do Microsoft Excel.

A seguir serão expostos em tabela os parâmetros utilizados para realização do dimensionamento e o dimensionamento em si.

#### 4.7.1 Perfuratriz

Para a realização do dimensionamento de todo o processo de perfuração e desmonte, deve-se reunir informações de forma que possa definir metragens a serem perfuradas, horas necessárias, consumo de broca, estabilizadores e hastes, gastos com explosivos, quantidade de furos e de material que será detonado, conforme a tabela 9 mostra.

Tabela 9: Parâmetros do processo de perfuração e desmonte

Descrição	Dados
Movimentação	500000
Altura da Bancada (m)	15
Densidade	1,15
Diametro do furo (mm) 3polega. subfuração	71
Espaçamento (m)	0,8
Afastamento (m)	3,6
Coluna carregada (m)	2,6
Tampão (m)	10,8
Profun. Do furo (m)	5
Densidade do explosivo t/m <sup>3</sup>	15,8
Ineficiencia de perfuração %	1,15
Veloc. De pefura. Opera. (m/h)	0,06
Vida útil do broca (m)	28
Vida útil do haste (m)	3200
Toneladas por furo	5000
Carga de explosivo (Kg)	161
Razão de carga Kg/t	49
M <sup>3</sup> por metro perfurado (m <sup>3</sup> )	0,3
Ton. metro perfurado (t/m)	9
Produção horária (t/h)	10
Reperfuração (%)	286
Volume a ser desmontado (m <sup>3</sup> )	0,06
Quantidade de perfuração	80000
Horas neces. Do equi. A ser utili.	540
Quantidade de brocas neces.	19,3
Quantidade de hases neces.	0,2
Quant. de explo. neces. (Kton)	0,11
Quant. De mate. Desmont. (ton)	28005
Quant. De furos neces.	92000
	570

Fonte: Elaborada pelo autor

Na tabela anterior foi analisado a quantidade de horas necessárias de modo geral.

Em seguida será exposta a quantidade de equipamentos necessários presente na tabela 10.

Tabela 10: Dimensionamento de perfuratriz

Dimensionamento de perfuratriz	Ano 1
Horas operacionais	1834
Quant. Dias ano	365
Quant. Horas dia	8
Disponibilidade	85%
Utilização	79%
Quant. De equi. Cálculada	0,9
Quant. De equi. Necessaria	1

Fonte: Elaborada pelo autor

As horas operacionais calculadas são apenas um número hipotético a fim de ilustrar a fórmula. É importante ter muita atenção aos números fracionários visto que é preciso aproximar. No exemplo anterior, o resultado foi de 0,9 deixando claro a necessidade de um equipamento.

#### 4.7.2 Carregamento escavadeira

Para realização do dimensionamento do equipamento de carregamento é necessário conhecer a disponibilidade e utilização estimada do equipamento. Devendo conhecer também a sua capacidade, e a capacidade de uso por hora, isto é a produtividade.

Algumas informações são encontradas nos manuais de fabricantes, devendo-se tomar cuidado, pois as empresas costumam ter mais de um tipo de equipamento e pode trocar a caçamba.

Para a realização do cálculo de produtividade, é necessário conhecer o tipo de caminhão que irá transportar o material, visto que para alcançar uma boa produtividade, o casamento dos equipamentos de carga e transporte tem de ser perfeito, isto é, o de carga deve ser compatível com o de transporte.

Tabela 11: Dimensionamento de escavadeira

<b>Dimensionamento de carregamento</b>	<b>Ano 1</b>
Empolamento (%)	0,25
Capacid. Da caçam. Carrega. (m <sup>3</sup> )	3
Capacid. Da caçam. transpor. (m <sup>3</sup> )	16,2
Tempo de ciclo (s)	25
Fator de enchimento (%)	1
Fator de produtividade (%)	0,86
Densidade do material (m <sup>3</sup> )	1,4
Volume por ciclo (m <sup>3</sup> )	3
Tonelada por ciclo	4,2
Quantidade de ciclos	5,4
Fator de agilidade operador (%)	0,92
Tempo de carga (minutos)	2,45
Troca de caminhão (min)	0,3
Eficiência operacional	65
Produtividade de carga (t/h)	537
Movimentação de massa (t)	600000
Horas necessarias	1117,5
Quantidade de equipamentos calculada	0,7
<b>Quantidade de equipamentos</b>	<b>1</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Portanto, segundo os cálculos a quantidade ideal de escavadeiras é de apenas uma, com caçamba de 4,0 m<sup>3</sup> para realização do carregamento do material.

#### 4.7.3 Transporte caminhão

No dimensionamento de caminhões é preciso manter atenção aos números utilizados nas premissas. Alguns dimensionamentos são feitos a partir de estimativas de produtividade, mas no presente trabalho será calculado levando em consideração as ineficiências que, de certa forma existe no processo.

Para calcular a produtividade do caminhão, é preciso conhecer o perfil da mina a fim de calcular o tempo variável e somar com os tempos fixos. O qual tem por finalidade estimar o tempo de ciclo do caminhão o qual é expresso na tabela 12.

Tabela 12: Tempo de ciclo transporte

Tempo de ciclo transporte	Valor
Tempo de ciclo variável	10,3
Tempo de espera carregar (min)	0,2
Manobra bascular (min)	0,4
Tempo fila bascular (min)	0
Tempo basculando	0,7
Tempo fixo (min)	1,3
tempo de carregamento	2,4
<b>Tempo de ciclo total (min)</b>	<b>15,3</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Dependendo da eficiência do processo, alguns dos tempos pouco influenciam ou apresentam valores significativos. No tempo variável, deve considerar o perfil da mina, isto é, qual será a distância percorrida em plano, subida e descida, com suas respectivas velocidades.

A tabela 13 demonstra com valores considerados hipoteticamente a realização dos cálculos da velocidade média de transporte.

Tabela 13: Determinação da velocidade média

Tempo de variavel	Distância (km)	Veloc. carregado (Km/h)	Veloc. Vazio (Km/h)
Horizontl (Km)	1	20	30
Subida (Km)	0,3	15	20
Decida (Km)	0,4	12	20
<b>Média</b>			<b>19,5</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tendo esses resultados em mão, é possível fazer o dimensionamento da quantidade de caminhões necessários para a realização do transporte do material. Contudo é importante a obtenção de dados da produtividade, das horas operacionais e a massa a ser transportada.

A tabela 14 demonstra um dimensionamento de uma frota necessária para a realização do transporte do material.

Tabela 14: Dimensionamento de caminhão

<b>Dimensionamento caminhão</b>	<b>Ano 1</b>
Capacidade do caminhão (m <sup>3</sup> )	18
Capacidade do caminhão (t)	25,2
Fator de enchimento (%)	0,9
Capacidade do camin. real (m <sup>3</sup> )	16,2
Capacidade do camin. Real (t)	22,68
Velocidade média (Km)	19,5
Produtividade (t/h)	89
Movimentação de massa (t)	600000
Horas operacionais	6766
Quantidade de equipamentos calculada	4,1
Quantidade de equipamentos	4

Fonte: Elaborada pelo autor

A quantidade ideal encontra poderá ser formada de quatro caminhões com capacidade de 18 m<sup>3</sup>, o qual é compatível como equipamento de carregamento.

#### **4.7.4 Equipamento auxiliar trator de esteira**

O dimensionamento de equipamentos auxiliares é feito da mesma forma dos demais, utilizando de cálculos. A realização dos cálculos de acordo com a engenharia do processo é importante, pois faz com que os números sejam menos questionáveis, sendo possível identificar possíveis melhorias no processo.

Neste trabalho será realizado o dimensionamento do trator de esteiras como demonstrativo, os demais equipamentos seguem o mesmo raciocínio de cálculo.

No dimensionamento de trator de esteiras, consideramos conhecer o rendimento operacional do equipamento, que poderá se ver a versus a utilização. Sendo assim, alguns fatores devem ser observados, para que possa ter um dimensionamento em comum acordo com o pessoal de operação.

Alguns fatores podem ser encontrados em livros com a dozabilidade (a consideração da facilidade ou da dificuldade de movimentar determinado material), alguns nos manuais de fabricante e outros como pessoal de operação.

A tabela 13 expõe todos os fatores utilizados para o dimensionamento do trator de esteiras.

Tabela 15: Fatores para o dimensionamento

Descrição	Valores
Movimentação do mate. Fácil	1,1
Movim. do mate. Fácil-Médio	1,05
Movim. do mate.Médio	1
Movim.do mate.Médio-Difícil	0,96
Movim. do mate.Difícil	0,92
Visibilidade ruim	0,8
Visibilidade média	0,9
Visibilidade exelente	1
operador em treinamento	0,6
Treinamento médio	0,7
Habilidade média	0,8
Habilidade boa	0,9
Habilidade exelente	1
Eficiência noturna	0,67
Eficiência diurno	0,83
Inclinação do terreno %	0,9
Fator de correção (%)	0,96
Capacida. da lâmina peq. (m <sup>3</sup> )	27
Capacida. da lâmina méd. (m <sup>3</sup> )	34,4
Capacida. Da lâmina gran. (m <sup>3</sup> )	43,6
Ganho de veloc. (DUAL TILT)	1,5
Sazonalidade	0,97

Fonte: Elaborada pelo autor

Outros fatos a serem observados também são os de utilização, disponibilidade, rendimento entre outros, os quais estão presentes na tabela 16.

Tabela 16: Parâmetros para dimensionamento

Dados de Tempo	Ano 1
Quant. Dias ano	365
Quant. Horas dia	8
Utilização	80%
Disponibilidade	85%
Redimento	68%

Fonte: Elaborada pelo autor

Conhecendo a quantidade de horas necessárias e o rendimento operacional do equipamento, é possível calcular a quantidade de equipamentos necessários. O qual será expresso na tabela 17.

Tabela 17: Dimensionamento trator de esteiras

<b>Dimensionamento trator de esteira</b>	<b>Ano 1</b>
Recuo (m)	30
Velocidade avante (Km/h)	3
Velocidade a ré (Km/h)	7
Tempo de ciclo (min)	0,86
Produtivi. Teórica (m <sup>3</sup> /h)	1050
Produtivi. Real (m <sup>3</sup> /h)	1577
Massa a ser movimen. (m <sup>3</sup> )	1000000
Horas necessárias	634
Quanti. De equipamentos	0,32
<b>Quanti. De equipa. Necessários</b>	<b>1</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Neste trabalho, está sendo considerada apenas movimentação de material na mina e na pilha de estéril. Mas são varias as utilidades do trator de esteiras como, acerto de praça, retaludamento das bancadas, construção da drenagem da água.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo apresenta-se a análise dos resultados e comportamento dos custos de produção com a variação da capacidade produtiva da frota de perfuração, carregamento e transporte dimensionada no capítulo anterior. Essa análise dos custos de produção com a variação da capacidade produtiva dá ao tomador de decisão uma visão econômico-financeira dos cenários de produção analisados de tal modo que se opte pelo cenário que atenda às metas de produção e minimize seus custos.

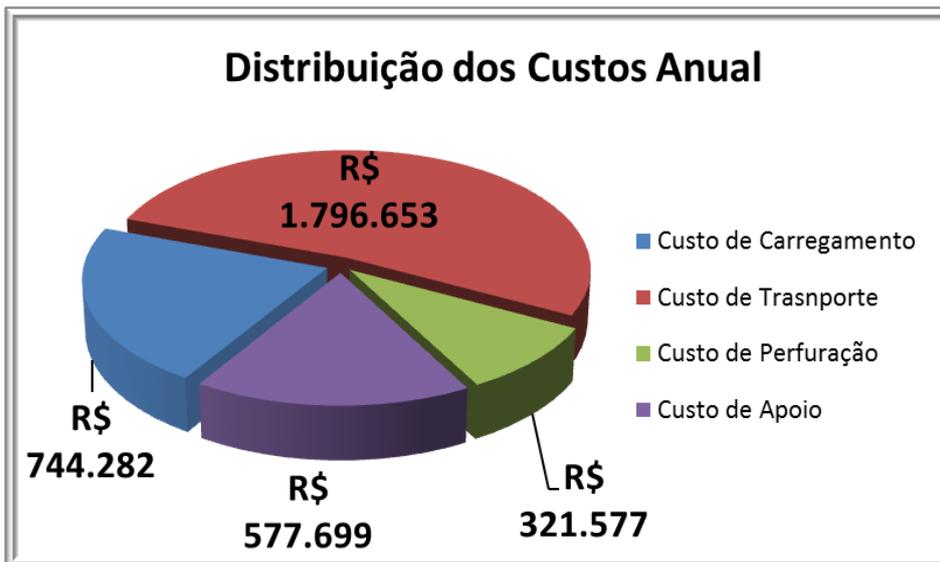
### 5.1 Composição dos custos

De acordo com o caso em estudo a composição dos custos para fins comparativos está de acordo com os custos presentes para que a empresa mineradora possa assumir as operações de movimentação de estéril e minério da mina de calcário a céu aberto, portanto, serão levados em consideração somente os custos que a empresa terá com as operações unitárias de lavra. Custos como mão de obra operacional, aquisição dos equipamentos, manutenções, materiais, dentre outros.

- Custo de mão de obra operacional: incidi nos custos com a quantidade de mão de obra necessária para operação dos equipamentos dimensionados e se necessário equipes de apoio. Estipulados a partir de salários bases mais encargos;
- Custo de aquisição: constituído pela compra dos equipamentos, incluindo os custos de transporte até a mina, impostos e despachantes. Estes custos foram estimados com base na média de preço dos equipamentos no mercado;
- Custos de manutenção: constituído de serviços de mão de obra de manutenção, peças e subconjuntos de reposição. Estimados com base em manual do fabricante e literária;
- Custos de materiais: constituídos de combustíveis, lubrificantes, graxas, filtros, pneus e parte rodante. Baseados no manual do fabricante;
- Outros: constituídos das despesas com equipes de apoio.

Para realização da estimativa de custos foi utilizado o programa do Excel, abastecido de fórmulas e dados obtidos de manuais de fabricantes, da literatura, e da produção calculada, o qual proporcionou a estimativa dos custos de todas as atividades separadamente, onde o custo de carregamento corresponde a 22% dos custos totais, o de transporte 52%, de perfuração 9% e o de apoio com 17%. O somatório destes será o custo total que a empresa terá com as operações de lavra. A figura expõe os valores respectivamente dos dados anteriores.

Figura 16: Custos operacionais de lavra



Os custos calculados são respectivamente para o primeiro ano de operação, os quais sofrem alterações nos anos seguintes, variando o custo de manutenção, que aumentará com o passar dos anos, em compensação o custo de amortização (que é o pagamento dos equipamentos), será quitado em cinco anos. A folha salarial dos colaboradores sofrerá aumento anualmente, considerando uma taxa de 7% ao ano.

As figuras 17 e 18 mostram a composição dos custos totais em R\$ e %, respectivamente para o primeiro ano analisado.

Figura 17: Composição dos custos anual em %

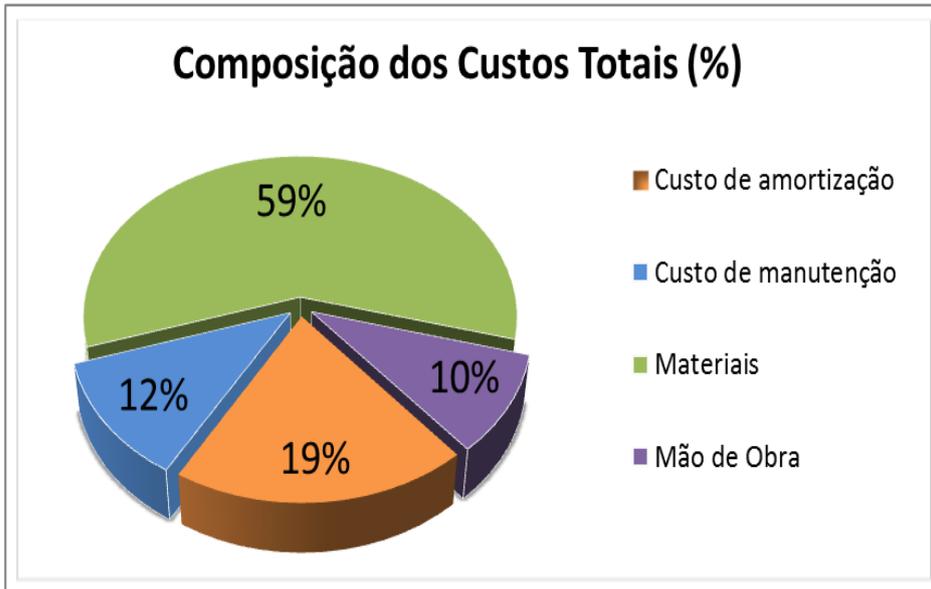
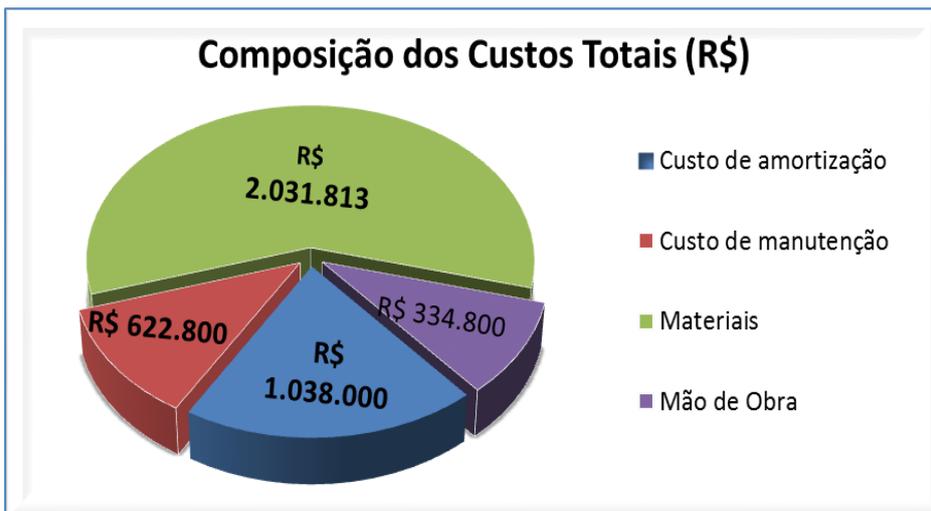


Figura 18: Composição dos custos anual em (R\$)



A estimativa dos custos totais foi feita através da divisão destes custos em custos fixos (que é a amortização do investimento em equipamentos) e variáveis (materiais, mão de obra, manutenção e outros) para cada cenário a fim de se verificar o comportamento dos custos totais e seus componentes fixos e variáveis, conforme ilustrado anteriores.

Após a estimativa dos custos totais, pode ser estimado o custo variando a capacidade máxima de produção em função da quantidade de caminhões e de outros equipamentos caso necessário, obtendo vários cenários de produção,

podendo assim escolher a quantidade de equipamentos com o menor custo possível.

A determinação deste custo total foi realizado através da somatória dos custos fixos e variáveis dividido pela produção máxima de cada cenário, obtendo o custo unitário em reais por tonelada para cada faixa de produção, repetindo-se o mesmo cálculo pra todos os cenários. Os quais estão expressos na tabela 18.

Tabela 18: Determinação dos custos em função da produção

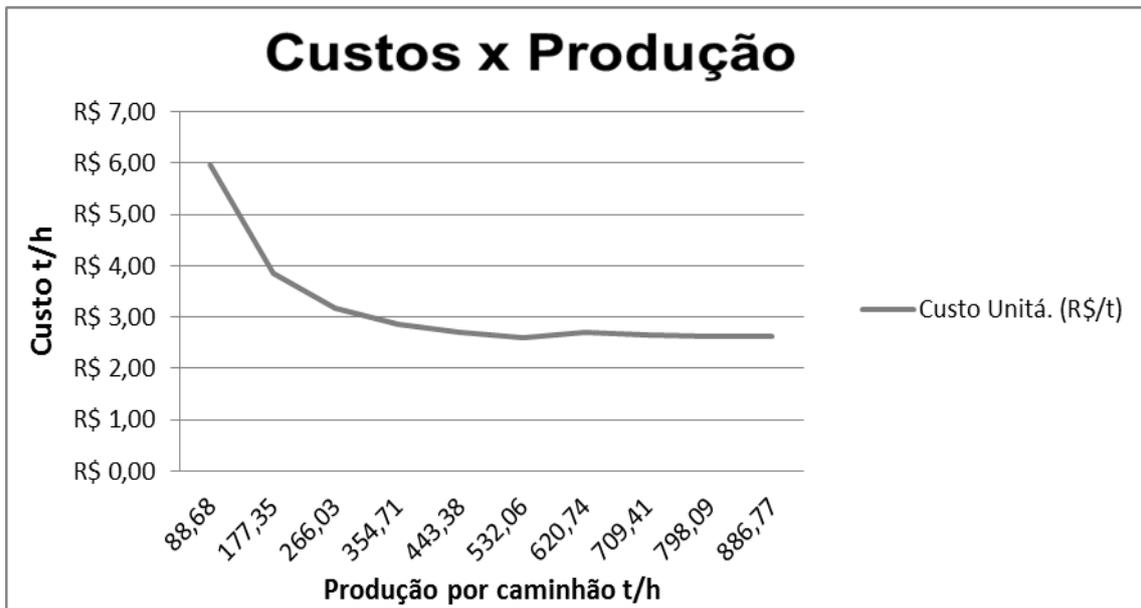
Nº de Caminhões	Produção (t/h)	Custo Unitá. (R\$/t)	Custo Total (R\$)
1	88,68	R\$ 5,97	R\$ 529,83
2	177,35	R\$ 3,86	R\$ 683,98
3	266,03	R\$ 3,18	R\$ 846,88
4	354,71	R\$ 2,87	R\$ 1.018,53
5	443,38	R\$ 2,70	R\$ 1.198,93
6	532,06	R\$ 2,61	R\$ 1.388,08
7	620,74	R\$ 2,69	R\$ 1.671,91
8	709,41	R\$ 2,65	R\$ 1.878,56
9	798,09	R\$ 2,62	R\$ 2.093,96
10	886,77	R\$ 2,61	R\$ 2.318,11

É evidente a redução dos custos unitários (R\$/t), ocasionado pelo aumento de produção, fazendo com que os custos fixos e variáveis diminuam.

As produções empregadas alteram de acordo com a capacidade máxima dos caminhões, portanto, é adicionado um caminhão a cada faixa de produção. Com o aumento de caminhões pode-se tornar necessário o acréscimo de outros equipamentos, implicando em aumento de custo fixos e variáveis, logo nos custos totais.

O acréscimo do custo ocasionado pelo aumento da capacidade produtiva em uma tonelada ultrapassando a capacidade instalada é chamado de custo marginal, podendo ser identificado no gráfico em saltos crescentes na curva de custos. Portanto, a cada novo cenário observado, aumentará a produção da frota, tornado necessário à compra de equipamentos ocasionando aumento nos custo de mão de obra, manutenção e materiais. O qual está exposto na figura 19, sendo o custo em função da produção.

Figura 19: Custo em função da produção t/h



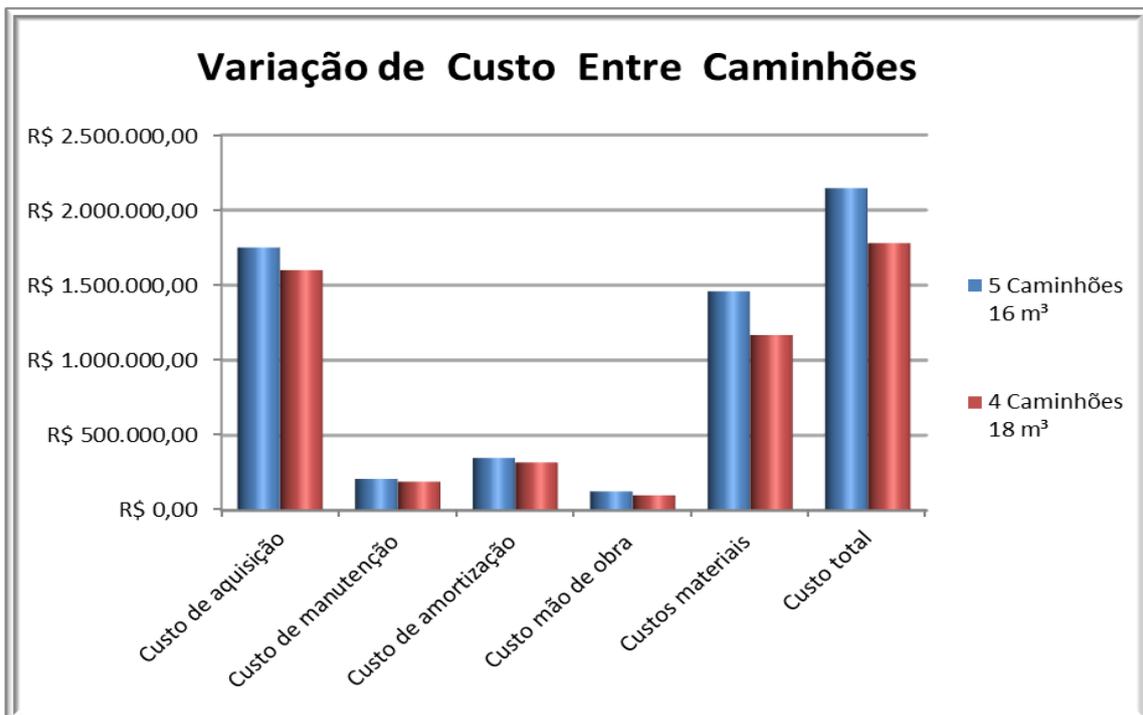
A figura 19 mostra a representação gráfica da variação de produção, demonstrando outra vez a viabilidade de produção acima de 530 t/h.

## 5.2 Influência do dimensionamento de frota nos custos unitários

O dimensionamento da frota para o caso em questão utilizou dos indicadores de produção presente nos capítulos anteriores. Para a operação de carregamento utilizou-se de uma escavadeira hidráulicas com concha de 3m<sup>3</sup>, o transporte foi estabelecido a quantidade de quatro caminhões com capacidade de 18m<sup>3</sup>, uma perfuratriz, um compressor de ar e um trator de esteira. A combinação entre os equipamentos de carregamento e transporte se mostrou ideal através dos cálculos de tempo de ciclo horas operacionais.

A escolha da capacidade de transporte dos caminhões foi determinada através dos custos fixos e variáveis, os quais demonstraram que o caminhão de 18m<sup>3</sup> tem menor custo benefício, o qual está exposto na figura 20.

Figura 20: Variação de custo entre a capacidade de transporte



Entretanto um bom dimensionamento de equipamentos deve sempre buscar a melhor relação custo-produção, devendo ser realizado não só pela otimização dos equipamentos, mas também considerando os custos envolvidos. A tabela 19 demonstra o comparativo entre o custo unitário para cada cenário de produção.

Tabela 19: Variação de custo de acordo com a produção

Nº de Caminhões	Nº de escavadeiras	Produção (t/h)	Custo Unitá. (R\$/t)	Custo Total (R\$)
1	1	88,68	R\$ 5,97	R\$ 529,83
2	1	177,35	R\$ 3,86	R\$ 683,98
3	1	266,03	R\$ 3,18	R\$ 846,88
4	1	354,71	R\$ 2,87	R\$ 1.018,53
5	1	443,38	R\$ 2,70	R\$ 1.198,93
6	1	532,06	R\$ 2,61	R\$ 1.388,08
7	2	620,74	R\$ 2,69	R\$ 1.671,91
8	2	709,41	R\$ 2,65	R\$ 1.878,56
9	2	798,09	R\$ 2,62	R\$ 2.093,96
10	2	886,77	R\$ 2,61	R\$ 2.318,11

Contudo, abordada as devidas premissas para cada caso, a quantidade ideal de caminhões, se deve ao equilíbrio entre custo e produtividade. A tabela demonstra que o custo unitário é menor com a frota de seis caminhões, porém para atender a

demanda de produção do primeiro ano bastam apenas quatro caminhões. A tabela 20 destaca a produção, custo total e custo por tonelada com a frota de quatro caminhões.

Tabela 20: Custo de produção com a frota de quatro caminhões

Produção Anual	Custo Total	Custos/t
R\$ 1.035.742,49	R\$ 3.423.756,73	R\$ 3,31

Com o aumento de produção nos anos seguintes é sugerido à aquisição de mais dois caminhões totalizando seis.

Perante o que foi apresentado, poucas vezes é analisado e levado em consideração o comportamento dos custos em relação a variação da frota e cenários de produção. A análise do comportamento dos custos de produção, juntamente ao dimensionamento da frota, possibilita aos gestores, tomadas de decisões, em função de termos técnicos e econômicos na escolha do volume de produção adequada a cada situação.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em questão demonstrou o dimensionamento de uma frota de perfuração, carregamento e transporte para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de capacidade de produção em constante análise do comportamento do custo total e unitário com a variação do tamanho da frota e volume de produção.

A análise do comportamento dos custos com a variação do volume de produção para faixas de capacidade produtiva da frota propiciou uma visão mais ampla do dimensionamento de equipamentos empregados nas operações unitárias de lavra em uma mineração a céu aberto. Dimensionamento este que foi o objetivo geral do trabalho, alcançado através da conclusão dos objetivos específicos, os quais se têm os resultados comentados a seguir.

Levando em consideração os diferentes tipos de carregamento e transporte oferecidos para a mineração a céu aberto, ao analisar suas características, nota-se que não existe um método que possa ser adequado para todos os tipos de situações. Portanto, o sistema de carregamento e transporte deve ser aquele que mais se adequa as suas condições técnicas e econômicas de cada mina.

O estudo e análise dos métodos e conceitos fundamentais da seleção de equipamentos, dimensionamento de frotas e estimação dos custos de operação estão presentes na literatura atual, servindo de base para o entendimento e aplicação prática dos principais conceitos e técnicas relacionados ao dimensionamento de frotas e estimativas dos custos de produção.

O estudo demonstrativo teve como objetivo fazer uma aplicação prática do dimensionamento de equipamentos empregados nas operações unitárias de lavra de mina a céu aberto, possibilitando a visualização das aplicações práticas dos conceitos fundamentais apresentados na fundamentação teórica, demonstrando a viabilidade de se trabalhar teoria e prática concomitantemente.

Para aplicação dos conceitos fundamentais com objetivo de se estimar as capacidades produtivas das frotas, bem como, analisar o comportamento da produção e custos envolvidos, foi criada uma planilha de cálculo, apresentada nos anexos, que possibilitou estimar o número de unidades de transporte necessário para operar com uma unidade de carga e para um determinado ciclo; o número de unidades de transporte que deverão ser adicionados ou retirados do sistema se as

distâncias variarem; o tempo de viagem dos caminhões para permitir análises comparativas; as produtividades das frotas e os custos operacionais.

Com a utilização dos conceitos fundamentais implementados na planilha de cálculo desenvolvida chegou-se a uma frota ótima de carregamento e transporte para as massas programadas, composta por quatro caminhões basculantes para transporte do material, uma escavadeira hidráulica para o carregamento, uma perfuratriz para fazer a perfuração dos furos de detonação, um compressor de ar e um trator de esteira para auxiliar na remoção de decapeamento, e outras funções.

Feito o dimensionamento dos equipamentos das operações unitárias de lavra, foi utilizada a estimativa dos custos de produção para cada atividade, e análise do comportamento com a variação do volume de produção.

Comparando os custos com os cenários de produção foi constatado um cenário de quatro caminhões e uma escavadeira, dimensionado através dos indicadores de produção, os quais atendem a demanda de produção. Diferentemente do resultado obtido, dentre os cenários de operação própria, um menor custo unitário para faixa de produção programada, demonstrando assim que a frota ótima é de seis caminhões e uma escavadeira sendo a frota de menor custo unitário de produção para o caso. Podendo ser assumido essa quantidade de equipamentos nos anos seguintes caso ocorra aumento de produção.

O método proposto neste trabalho para dimensionamento de frota ótima e custos operacionais pode ser aplicável a qualquer tipo de frota independentemente de sua capacidade e volume de produção, bastando apenas alterar os valores das variantes presentes nos cálculos que compõem a planilha, atendendo a todo tipo de mina.

O presente trabalho demonstrou e recomenda a utilização da análise dos custos operacionais na otimização do tamanho de frotas de carregamento e transporte, em que, a partir do que foi exposto, pode-se concluir que o número ótimo de equipamentos na frota é o equilíbrio entre produtividade e custos, ou seja, a frota ótima não é necessariamente a que resulta em maior produção, mas sim a que tenha a melhor relação custo-produção.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, Thiago Campos. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3411/1/DISSERTAÇÃO\\_AnáliseCustoOperacionais.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3411/1/DISSERTAÇÃO_AnáliseCustoOperacionais.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CASE. **Manual do fabricante**. [http://www.casece.com/pt\\_br/Gallery/Downloads/Produtos](http://www.casece.com/pt_br/Gallery/Downloads/Produtos).

CATERPILLAR. **Manual de Produção**. 36ª edição, Caterpillar inc. USA, 2004

CATERPILLAR - Catálogo: **“Track-Type Tractor”** - D9T, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 24 de Julho de 2013 b.

CATERPILLAR - Catálogo: **“Wheel Dozer”** - 854K, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 24 de Julho de 2013 c.

CATERPILLAR - Catálogo: **Lâmina** (Trator de Esteiras - D8T), disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 24 de Julho de 2013 d. 113

CATERPILLAR - Catálogo: **Escarificador ou “Ripper”** (“Track-Type Tractor” - D10T), disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 24 de Julho de 2013 e.

CATERPILLAR - Catálogo: **“Wheel Tractor-Scraper”** - 623H, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 24 de Julho de 2013 f.

CATERPILLAR - Catálogo: **Pá-Carregadeira de esteiras** - 973D, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 28 de agosto de 2015

CATERPILLAR - Catálogo: **Carregadeira de rodas** - 994H, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 28 de agosto de 2015

CATERPILLAR - Catálogo: **“Dragline”** - 8200, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 28 de agosto de 2015.

CATERPILLAR - Catálogo: **Caminhão de Mineração** - 789D, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 28 de agosto de 2015.

CATERPILLAR - Catálogo: **Perfuratriz Giratória** - MD6240, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 28 de agosto de 2015

CHAVES, FÁbio Almeida. **SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES INDUSTRIAIS PARA UM PROJETO DE MINERAÇÃO EM SUPERFÍCIE: MINERODUTO, CAMINHÕES FORA DE ESTRADA E TRANSPORTADORES DE CORREIA**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Santa Cecília Programa de PÓS-graduação em Engenharia Mecânica Mestrado em Engenharia Mecânica, Santos/sp, 2105. Cap. 2015. Disponível em: <[http://sites.unisantabrasil.br/ppgmec/dissertacoes/Dissertacao\\_Fabio.pdf](http://sites.unisantabrasil.br/ppgmec/dissertacoes/Dissertacao_Fabio.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2015.

D'ARRIGO, Rafael Freitas. **Modelo de estimativa de custo operacional e de capital de mineração em fase conceitual baseado no modelo de O'Hana**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96382/000915913.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 set. 2015.

DNPM. **Geologia e Mineração: Mineração**. Disponível em <http://www.dnmpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>. Acessado em 10/05/2015

FERREIRA, Leonardo Assis. **ESCAVAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE MINAS A CÉU ABERTO**. 2013. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Juiz de Fora Faculdade de Engenharia da Ufjf, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/ESCAVAÇÃO-E-EXPLORAÇÃO-DE-MINAS-A-CÉU-ABERTO.pdf>. Acesso em: 14 set. 2105.

FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. ; LUZ, Adão Benvido da . ; SAMPAIO, João Alves. **1.Tratamento de Minério 2. Cominuição 3. Flotação 4. Barragem de rejeitos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

QUAGLIO, Osvail André. **OTIMIZAÇÃO DA PERFURAÇÃO E DA SEGURANÇA NOS DESMONTES DE AGREGADOS ATRAVÉS DOS SISTEMAS LASER PROFILE E BORETRAK**. 2003. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003. Disponível em: [http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3118/1/DISSERTAÇÃO\\_OtimizaçãoPerfuraçãoSegurança.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3118/1/DISSERTAÇÃO_OtimizaçãoPerfuraçãoSegurança.pdf). Acesso em: 16 set. 2015

JESUS, Leandro de. **Dimensionamento de equipamento e custo operacional**. São Paulo: Baraúna, 2013. 92p.

JAWORSKI, Tadeo. **EQUIPAMENTOS PARA ESCAVAÇÃO – COMPACTAÇÃO E TRANSPORTE**. 1997. 124 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 1997. Disponível em: [http://www.dtt.ufpr.br/Equipamentos/Arquivos/Apostila de Equipamentos Digitalizada\\_Tadeo\\_Jaworski.pdf](http://www.dtt.ufpr.br/Equipamentos/Arquivos/Apostila%20de%20Equipamentos%20Digitalizada_Tadeo_Jaworski.pdf). Acesso em: 29 ago. 2015.

LOPES, José Raimundo. **Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível em: [http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2665/1/DISSERTAÇÃO\\_ViabilizaçãoTécnicaEconômica.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2665/1/DISSERTAÇÃO_ViabilizaçãoTécnicaEconômica.pdf). Acesso em: 30 abr. 2015.

LIMA, Walter da Costa; SALLES, Jose Antonio Arantes. **Manutenção Preditiva: Caminho para a Excelência e Vantagem Competitiva**. 2006. Disponível em: <http://www.unimep.br/phpg/mostracademica/anais/4mostra/pdfs/616.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2015.

QUEVEDO, J. M. G.; DIALLO, M.; LUSTOSA, L. J. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. Pontifícia Universidade 97 Católica do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009.

MINEROPAR. **Planejamento na Mineração, capítulo 4**. [http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/plano\\_diretor/relatorio/capitulo4.pdf](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/plano_diretor/relatorio/capitulo4.pdf). Acesso em 20 set 2015.

MINÉRIOS MINERALES. São Paulo: Revista mineiros, jun. 2015. Disponível em: [http://www.minerios.com.br/Conteudo/Arquivos/Mat/files/MM\\_371\\_SITE.pdf](http://www.minerios.com.br/Conteudo/Arquivos/Mat/files/MM_371_SITE.pdf). Acesso em: 15 set. 2015.

RICARDO, Hélio Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. 3. ed. São Paulo. Editora Pini, 2007.

SABINO, Rodrigo O.; AGRA, Richardson V.; TOMI, Giorgio de. **DESAFIOS NA GESTÃO DE ATIVOS EM PROJETOS DE MINERAÇÃO DE PEQUENO PORTE: EXEMPLO PRÁTICO**. 2008. Disponível em: [http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sessões\\_A4\\_A5\\_A6/A6\\_ARTIGO\\_03.pdf](http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sessões_A4_A5_A6/A6_ARTIGO_03.pdf). Acesso em: 29 set. 2015.

SILVA, Valdir Costa. **Carregamento e transporte de rochas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto**. Ouro Preto. 2009.

SOUSA JÚNIOR, Wilson Trigueiro de. T. **Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão: estudo de caso - Mineração de**

**bauxita.** . 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em:  
<[http://repositorio.sisbin.ufop.br/bitstream/123456789/2649/1/DISSERTAÇÃO\\_SeleçãoCaminhõesRodoviários.pdf](http://repositorio.sisbin.ufop.br/bitstream/123456789/2649/1/DISSERTAÇÃO_SeleçãoCaminhõesRodoviários.pdf)>. Acesso em: 20 agos. 2015.

## ANEXOS

## Anexo I: Dimensionamento de Carregamento e Transporte

	A	B	C	D	E
	<b>Dimensionamento de Carregamento e Transporte</b>				
9					
10		<b>Massa a Movimentar</b>		<b>Dados de Tempo</b>	<b>Ano 1</b>
11	Mínimo (t)	400000		Quant. Dias ano	365
12	Estéril (t)	200000		Quant. Horas dia	8
13	Densidade do material	1,4		Utilização	=B44
14	Empolamento	0,25		Disponibilidade	=B30
15				Pedimento	=E13*E14
16		<b>Diponibilidade Física</b>		<b>Dimensionamento caminhão</b>	<b>Ano 1</b>
17	Dias no ano	365		Capacidade do caminhão (m³)	18
18	horas por dia	8		Capacidade do caminhão (t)	=E18*B13
19	Revisão de 250 h	4		Fator de enchimento (%)	0,9
20	Revisão de 500 h	6		Capacidade do camin. real (m³)	=E18*E20
21	Revisão de 1000h	10		Capacidade do camin. Real (t)	=E19*E20
22	Revisão corretiva dia (h)	1		Velocidade média (Km)	=MÉDIA(I11:K13)
23	Quant. De hora revis. 250h	=((B17*B18)/250)		Produtividade (t/h)	=E22/(H24/60))
24	Quant. De hora revis. 500h	=B17*B18/500		Movimentação de massa (t)	600000
25	Quant. De hora revis. 1000h	=B17*B18/1000		Horas operacionais	=E25/E24
26	Total de horas revi. 250	=B23*B19		Quantidade de equipamentos calculada	=E26/(E11*E12*E14*E13))
27	Total de horas revi. 500	=B24*B20		Quantidade de equipamentos	=ARRED(E27,0)
28	Total de horas revi. 1000	=B25*B21			
29	Total de horas corretiva	=B22*B17)			
30	Disponibilidade do equipamento	=(((B17*B18))-(B26+B27+B28)		<b>Dimensionamento de carregamento</b>	<b>Ano 1</b>
31				Empolamento (%)	0,25
32		<b>Utilização</b>		Capacid. Da caçam. Carrega. (m³)	3
33	Diponibilidade física (%)	=B30		Capacid. Da caçam. transpor. (m³)	=E21
34	Dias do ano trabalhados	365		Tempo de ciclo (s)	25
35	Quantidade de turnos	1		Fator de enchimento (%)	1
36	Horas por turno	8		Fator de produtividade (%)	0,86
37	Horas para o almoço	1		Densidade do material (m³)	1,4
38	Troca de operador (h)	0		Volume por ciclo (m³)	=E32*E35)
39	Horas com a máq. parada	150		Tonelada por ciclo	=E38*E37)
40	Horas com a máq. Em treina.	2		Quantidade de ciclos	=MIN(E22/E39;E21/E38)
41	Horas paradas gerenciais	12		Fator de agilidade operador (%)	0,92
42	Horas paradas plêtonação	75		Tempo de carga (minutos)	=((E40*E34)*(1/E41))/60
43	Horas perd. Com sazonal.	180		Troca de caminhão (min)	0,3
44	Utilização anual	=(((B34*B36*B35)/B33)-(B34)		Eficiência operacional	65
45				Produtividade de carga (t/h)	=E44*E22/(E42+E43))
46				Movimentação de massa (t)	600000
47				Horas necessárias	=E46/E45)
48				Quantidade de equipamentos calculada	=E47/(E11*E12*E13*E14))
49				Quantidade de equipamentos	=ARRED(E48;0)

\* Alterar somente os valores em amarelo

	Tempo de variável	Distância (km)	Veloc. carregado (Km/h)	Veloc. Vazio (Km/h)
10				
11	Horizontl (Km)	1	20	30
12	Subida (Km)	0,3	15	20
13	Decida (Km)	0,4	12	20
14	Média			=MÉDIA(I11:I13)
15				
16	Tempo de ciclo transporte	Valor		
17	Tempo de ciclo variável	=((H11/111+H12/112+H13/113+H111/111+H12/112)		
18	Tempo de espera carregar (min)	0,2		
19	Manobra bascular (min)	0,4		
20	Tempo fila bascular (min)	0		
21	Tempo basculando	0,7		
22	Tempo fixo (min)	=SOMA(H18:H19;H20;H21;H16)		
23	tempo de carregamento	=E42		
24	Tempo de ciclo total (min)	=SOMA(H17;H23)		
25				
26	* Alterar somente os valores em amarelo			

	A	B	C	D	E
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					

Dimensionamento Carregamento e Transporte					
	A	B	C	D	E
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					

Dimensionamento Caminhão					
	A	B	C	D	E
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					

Dimensionamento de Carregamento					
	A	B	C	D	E
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					

\* Preencha somente os dados em amarelo

	Descrição	Valores
2		
3	Movimentação do mate. Fácil	1,1
4	Movim. do mate. Fácil-Médio	1,05
5	Movim. do mate.Médio	1
6	Movim.do mate.Médio-Difícil	0,96
7	Movim. do mate.Difícil	0,92
8	Visibilidade ruim	0,8
9	Visibilidade média	0,9
10	Visibilidade excelente	1
11	operador em treinamento	0,6
12	Treinamento médio	0,7
13	Habilidade média	0,8
14	Habilidade boa	0,9
15	Habilidade excelente	1
16	Eficiência noturna	0,67
17	Eficiência diurna	0,83
18	Inclinação do terreno %	0,9
19	Fator de correção (%)	=(-0,0214*B18+0,9786)
20	Capacida. da lâmina peq. (m³)	27
21	Capacida. da lâmina méd. (m³)	34,4
22	Capacida. Da lâmina gran. (m³)	43,6
23	Ganho de veloc. (DUAL TILT)	1,5
24	Sazonalidade	0,97

Dimensionamento trator de esteira	Ano 1
Recuo (m)	30
Velocidade avante (Km/h)	3
Velocidade a ré (Km/h)	7
Tempo de ciclo (min)	$=(((E3/1000)/E4)+((E3/1000)/E5))*60$
Produtivi. Teórica (m³/h)	$=15*60)/E6$
Produtivi. Real (m³/h)	$=E7*86*89*B14*B17*B19*(1+B23)*B24$
Massa a ser movimen. (m³)	1000000
Horas necessárias	$=E9/E8$
Quanti. De equipamentos	$=E10/(E18*E19*E21*E20))$
Quanti. De equipa. Necessários	$=ARREDONDAR.PARA.CIMA(E11;0)$

Dados de Tempo	Ano 1
Quant. Dias ano	365
Quant. Horas dia	8
Utilização	0,8
Disponibilidade	0,85
Reclimamento	$=E20*E21$

CUSTO COM MÃO DE OBRA/ANO							
	Cargo	Quant. de equipamentos	Quanti. De turnos	Mês	Quantidade de funcionário	Salário mesal	Custo/ano
5							
6							
7	Operador de Caminhão	=Dimen. trans. e carreg. !E28	1	12	=E7	2100	=I7*H7*G7
8	Operador de Perfuratriz	=Dimen. Perfu. !G10	1	12	=E8	2300	=I8*H8*G8
9	Operador de Trator de esteira	=Dimen. equi. auxil. !F12	1	12	=E9	3500	=I9*H9*G9
10	Operador de Escavadeira	=Dimen. trans. e carreg. !E49	1	12	=E10	3500	=I10*H10*G10
11	Ajudante		1	12	1	900	=I11*H11*G11
12	Mecânico		1	12	1	2000	=I12*H12*G12
13	Eletricista		1	12	1	1500	=I13*H13*G13
14	Borracheiro		1	12	1	900	=I14*H14*G14
15	Lavador e lubrificador		1	12	1	900	=I15*H15*G15
16	Supervisor de Operação		1	12	1	4000	=I16*H16*G16
17	<b>TOTAL</b>					=SOMA(H7:H16)	=SOMA(H7:H16)
18	* Alterara somente valores em amarelo						
19							

		CUSTO DE AQUISIÇÃO				PRIMEIRO ANO	
Equipamentos	Custo de aquisição	Quantidade	Custo total	Custo de manutenção	Custo de amortização		
5 Caminhão	400000	= (Dimen. trans. e carreg. / E28)	= (C5*B5)	=D5*0,01*12	=(\$D5/5)		
6 Escavadeira	780000	= Dimen. trans. e carreg. / E49	= (C6*B6)	=D6*0,01*12	= \$D6/5		
7 Perfuratriz	185000	= Dimen. Perfu. / G10	= (C7*B7)	=D7*0,01*12	= \$D7/5		
8 Compressor de ar	140000	= Dimen. Perfu. / H10	= (C8*B8)	=D8*0,01*12	= \$D8/5		
9 Trator de esteira	650000	= Dimen. equi. auxil. / F12	= (C9*B9)	=D9*0,01*12	= \$D9/5		
10 TOTAL							
12		COMBUSTÍVEL L/H		GRAXA LUBRIFICANTE		PNEUS/3500h	
13		Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor unitário
14 Caminhão	33,1	2,8	0,02	6,1	6,1	10	2500
15 Escavadeira	54,3	2,8	0,43	6,1	6,1		
16 Perfuratriz		2,8	0,18	6,1	6,1		
17 Compressor de ar	21,3	2,8	0,21	6,1	6,1	2	500
12		LUBRIFICANTES /h		TOTAL / UNIDADE / HORAS / DIAS		TODOS EQUIPAMENTOS	
13		Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	Mesal	Anual
14 0,45	2,5	5	80	1	30	= (C5*N14)	= (N14*C5*12)
15 0,65	3,3	8	70	= (B14*C14)+(D14*E14)+(F14*G14/3500)+(H14*I1 =L14*SMS13	=M14*\$N\$13	=C6*N15	= (N15*C6*12)
16 0,5	3,25	5	85	= (B15*C15)+(D15*E15)+(F15*G15/3500)+(H15*I1 =L15*SMS13	=M15*\$N\$13	=C7*N16	= (N16*C7*12)
17 0,55	2,85	4	69	= (B16*C16)+(D16*E16)+(F16*G16/3500)+(H16*I1 =L16*SMS13	=M16*\$N\$13	=C8*N17	= (N17*C8*12)
18 0,7	3,1	7	55	= (B17*C17)+(D17*E17)+(F17*G17/3500)+(H17*I1 =L17*SMS13	=M17*\$N\$13	=C9*N18	= (N18*C9*12)
19		= ((H14*K14)+(H15*K15)+(H16*K16)+(H17*K17)+(H18*K18))/1500		=SOMA(L14:L18)		=SOMA(N14:N18)	=SOMA(O14:O18)