

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M

**Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento
de escavação e de transporte em mineração**

Ismael Momade Racia

Dissertação para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Minas.

Porto Alegre/RS

2016.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M

Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração

Ismael Momade Racia
Engenheiro de Minas

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia de Minas, da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Tecnologia Mineral

Porto Alegre/RS

2016.

Esta Dissertação foi analisada e julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Lemos Peroni

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe (PPGE3M/UFRGS)

Prof. Dr. Jorge Dariano Gavronski (DEMIN/UFRGS)

Prof. Dr. Paulo Salvadoretti (DEMIN/UFRGS)

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann

Coordenador do PPGE3M

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos aqueles que deram sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos, deixo os mais sinceros agradecimentos;

A Allah (Deus) todo poderoso pela saúde e força que vem me dando nesta vida;

Aos meus pais que me trouxeram ao mundo, que Deus lhes dê um eterno descanso em paz;

A toda minha família, em especial a Sandra Bernardo Zaqueu, pelo amor, amizade, companheirismo, paciência e atenção em todos os momentos e aos meus filhos que sempre quiseram brincar brincar e brincar, e eu pouco tempo tinha para tais brincadeiras;

Ao meu orientador, Sr.º Professor Rodrigo de Lemos Peroni, Eng. Minas, MSC., Dr. Eng que desde o início acreditou nas potencialidades do tema que lhe propus. Fico-lhe grato pela forma como me motivou, pela liberdade de ação que permitiu, e mais importante de tudo, pela sua orientação e transmissão de conhecimentos;

À minha Instituição (Instituto Superior Politécnico de Tete) pela oportunidade que me deram;

À Silvia Costa, pelas muitas horas de programação, essenciais para finalizar este trabalho.

Ao Senhor Rene Lenssen, Gestor do Projeto NICHE pelo apoio;

A todos os professores do PPGE3M, em especial aos Professores Dr. João Felipe C.L. Costa e Professor Dr. Jair Carlos Koppe;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelas oportunidades e apoio;

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão do meu mestrado.

“O artista tem que ser gênio para alguns e imbecil para outros se puder ser imbecil para todos, melhor ainda”.

(Nelson Rodrigues)

RESUMO

O motivo da dissertação “*Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamentos de Escavação e de Transporte*” surgiu da necessidade de apoiar no processo de decisão de dimensionamento dos principais equipamentos de mineração. Este trabalho apresenta um modelo simples e direto para dimensionar os equipamentos principais de mineração (escavadeiras e caminhões) através de uma rotina criada denominada *EXCESimulator*, concebido para o cálculo da capacidade das caçambas das escavadeiras, do número dos equipamentos de escavação e de transporte, bem como os tempos de espera das unidades de transporte em carregar. Para tal, definem-se os parâmetros de produtividade e características dos equipamentos; calcula-se aplicando um modelo determinístico de produção; e faz-se o levantamento de equipamentos existentes no mercado, reunindo as suas características e serviços prestados pelos representantes ou fabricantes das marcas. Para demonstrar a funcionalidade do modelo desenvolvido, o presente trabalho demonstrou, através de um estudo de caso, o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de produção, e uma comparação entre o uso de equipamentos de pequeno e grande porte no aspeto da demanda de equipamento. O estudo foi desenvolvido a partir de uma empresa de mineração hipotética baseada em dados realista. O modelo desenvolvido é aplicável a qualquer tipo de equipamento de escavação e de transporte, independente do seu porte e capacidade de produção. Como conclusão, pretende-se com esta dissertação fornecer uma ferramenta útil para o apoio à decisão de dimensionamento de equipamentos e frotas de escavação e de transporte capaz de suprir a necessidade de uma consulta de mercado.

Palavras Chave: Dimensionamento, escavadeiras, caminhões, produtividade, condições operacionais.

ABSTRACT

The reason for the dissertation "Development of an Estimating Model for Excavation and Transport Equipment" arose from the need to support the decision-making process for the size of the main mining equipment. This work presents a simple and direct model for sizing the main mining equipment (excavators and trucks) through a routine created called EXCESimulator, designed to calculate the capacity of excavator buckets, number of excavation and transport equipment, and As the waiting times of the transport units on loading. For this, the parameters of productivity and characteristics of the equipment are defined; Is calculated by applying a deterministic model of production; And it is made the survey of existing equipment in the market, gathering its characteristics and services provided by the representatives or manufacturers of the brands. To demonstrate the functionality of the developed model, the present study demonstrated, through a case study, the design of a loading and transport fleet for open pit mining using production indicators, and a comparison between the use of small equipment And large in the aspect of equipment demand. The study was developed from a hypothetical mining company based on realistic data. The developed model is applicable to any type of excavation and transportation equipment, regardless of its size and production capacity. In conclusion, it is intended with this dissertation to provide a useful tool to support the decision on sizing equipment and excavation and transport fleets capable of supplying the need for a market consultation.

Keywords: *Sizing, Excavators, Trucks, Productivity, Operating conditions.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo típico de escolha e compatibilização de equipamento de mineração	16
Figura 2: Ciclo normal de operações mineiras. Fonte: Couto (1990).....	20
Figura 3: Trator de esteira. Fonte: Caterpillar (2007)	21
Figura 4: Scraper. Fonte: Caterpillar (2007)	21
Figura 5: Motoniveladora: Fonte: Faria (2010)	22
Figura 6: Escavadeiras com as duas formas de configuração da concha (retro e frontal, respectivamente). Fonte: Liebherr (2009/10).....	22
Figura 7: Carregadeira frontal sobre pneus. Fonte: Faria (2010)	23
Figura 8: Volume de caçamba ou concha de um equipamento. Fonte: Komatsu (2008)	26
Figura 9: Força de arranque e de ataque das caçambas das escavadeiras. Fonte: Caterpillar (2012)..	27
Figura 10: Exemplo de fator de enchimento da concha acima da capacidade nominal. Fonte: Komatsu (2008)	28
Figura 11: Largura das caçambas ou concha. Fonte: Caterpillar (2012)	30
Figura 12: Representação esquemática do aumento de volume de material empolado. Fonte: Caterpillar (2012).....	30
Figura 13: Tempo de ciclo x condições operacionais da escavadeira. Fonte: Caterpillar (2012)	36
Figura 14: Sistemas de transporte. Caminhão (esquerda); Correia (direita). Fonte: Caterpillar (2009)	37
Figura 15: Evolução dos equipamentos de transporte. Fonte: Bridgestone (xxxxx)	38
Figura 16: Capacidade dos caminhões. Nominal (esquerda); Coroada (direita). Fonte: Gregory (2000)	41
Figura 17: Grafico dos tempos de transporte carregado e vazio para um determinado modelo de caminhão. Fonte: Caterpillar (2009)	43
Figura 18: Distância geral de transporte carregado para sistemas móveis. Fonte: Caterpillar (2012)	43
Figura 19: Resistência ao rolamento. Fonte: Jaworski (1997)	44
Figura 20: Resistência da rampa. Fonte:Jaworski (1997)	45
Figura 21: Considerações para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento. Fonte: Bozorgebraimi et al (2003).....	50
Figura 22: Relação do intervalo de números de passes recomendados para encher um determinado caminhão compatível. Fonte: Peroni (2015).....	53

Figura 23: Fluxograma do EXCEsimulator.....	60
Figura 24: Janela de Início ou Menu.....	61
Figura 25: Janela para o cálculo do volume da capacidade da escavadeira	62
Figura 26: Janela para o cálculo de número de escavadeiras	63
Figura 27: Janela de cálculo de número de caminhões	64
Figura 28: Janela de cálculo de tempo de espera de o caminhão carregar	65
Figura 29: Valor da capacidade da caçamba segundo o cálculo do EXCEsimulator	68
Figura 30: Valor de número de escavadeira segundo o cálculo do EXCEsimulator	69
Figura 31: Valor do número de caminhões segundo o cálculo do EXCEsimulator	70
Figura 32: Valor do tempo de espera segundo o cálculo do EXCEsimulator	71
Figura 33: Comparação da demanda de escavadeiras.....	81
Figura 34: Comparação da demanda de caminhões.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fator de enchimento. Fonte: Caterpillar (2012)	29
Tabela 2: Tempos de ciclo típicos das escavadeiras da Caterpillar. Fonte: Caterpillar (2012).....	35
Tabela 3: Coeficiente de rolamento de alguns materiais. Fonte: Jaworski (1997)	44
Tabela 4: Valor da capacidade da caçamba segundo o cálculo da Caterpillar	68
Tabela 5: Valor de número de escavadeiras segundo o cálculo da Caterpillar	69
Tabela 6: Valor de número de caminhões segundo o cálculo da Komatsu	70
Tabela 7: Valor de tempo de espera segundo o cálculo da Komatsu.....	71
Tabela 8: Produção planejada para 20 anos	73
Tabela 9: Principais indicadores de produção para escavadeiras e caminhões de pequeno porte nos 20 anos do projeto.....	76
Tabela 10: Principais indicadores de produção para escavadeiras e caminhões de grande porte nos 20 anos do projeto.....	76
Tabela 11: Dados para cálculo da produtividade das escavadeiras de pequeno porte	77
Tabela 12: Dados para cálculo da produtividade das escavadeiras de grande porte	77
Tabela 13: Número de equipamentos de pequeno e grande porte nos 20 anos do projeto	80
Tabela 14: Componentes necessários para estimativa da produtividade dos equipamentos de pequeno porte.....	100
Tabela 15: Componentes necessários para estimativa da produtividade dos equipamentos de grande porte.....	101
Tabela 16: Dimensionamento de escavadeiras de pequeno porte.....	102
Tabela 17: Dimensionamento de caminhões de pequeno porte.....	103
Tabela 18: Dimensionamento de escavadeiras de grande porte	104
Tabela 19: Dimensionamento de caminhões de grande porte	105
Tabela 20: Tempo de espera de carregamento dos caminhões de pequeno porte	106
Tabela 21: Tempo de espera de carregamento dos caminhões de grande porte.....	107

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°	Graus
%	Porcentagem
AMD	Metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão em português
cm	Centímetros
kgf	Kilograma força
kgf/t	Kilograma força por tonelada
m	Metros
m ³	Metros cúbicos
mm	Milímetros
MCDA	Metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão em inglês
ROM	<i>Run of Mine</i> – Movimentação da Mina
SENAC	Serviços Nacional de Aprendizagem Comercial
Sr.º	Senhor
t	Toneladas
tgθ	Tangente do ângulo teta
VBA	Visual Basic for Applications
XIX	Século dezanove

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	14
INTRODUÇÃO	14
1.1. Meta	15
1.2. Objetivos	15
1.3. Justificativa do Trabalho	15
1.4. Relevância do Trabalho	16
1.5. Estrutura da Dissertação.....	17
CAPÍTULO 2.....	19
REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....	19
2.1. Explorações Mineiras a Céu Aberto	19
2.2. Operações e Equipamentos Principais de Mineração	20
2.2.1. Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto.....	20
2.2.2. Equipamentos de Escavação	21
2.2.2.1. Equipamentos Escavadores Elevadores	24
2.2.2.2. Produtividade dos Equipamentos de Carregamento	24
2.2.2.3. Parâmetros Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos	25
2.2.3. Equipamentos de Transporte.....	37
2.2.3.1. Transporte por Caminhões	37
2.2.3.2. Vantagens e desvantagens da mineração com transporte por caminhões	39
2.2.3.3. Classificação dos Caminhões	40
2.2.3.4. Capacidade dos Caminhões	41
2.2.3.5. Tempo de ciclo dos caminhões.....	41
2.2.3.6. Resistência ao Rolamento	44
2.2.3.7. Resistência de Rampa (RRa)	45

2.2.3.8. Operação Conjugada	46
2.3. Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte.....	47
2.3.1. Seleção de Equipamentos de Carregamento e de Transporte	47
2.3.2. Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte.....	48
2.3.3. Dimensionamento de equipamentos por indicadores de produção	50
2.4. Compatibilização dos Equipamentos.....	51
2.5. Substituição de Equipamentos.....	53
2.6. Estudos Sobre Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Mineração	55
2.7. Tomada de Decisão.....	57
CAPÍTULO 3.....	58
METODOLOGIA.....	58
3.1. Natureza e Classificação da Pesquisa	58
3.2. Coleta e Sequenciamento da Pesquisa	58
3.3. MODELO EXCESimulator.....	59
3.3.1. Panorama Geral do EXCESimulator	59
3.3.2. A interface	61
3.3.3. Demonstração das formulas usadas para os cálculos feitos nos User Forms do EXCESimulator.....	66
3.3.4. Exemplo	68
3.3.5. Comparação do Software Tolpac com o Modelo EXCESimulator	72
CAPÍTULO 4.....	73
DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO	73
4.1. Descrição do projeto	73
4.2. Plano de mineração	74
4.3. Sistema de carregamento e transporte utilizado	75

4.4. Indicadores de produção e dados fundamentais	75
4.5. Análise dos ciclos para estimativa de produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte.....	76
4.6. Dimensionamento da frota	78
CAPÍTULO 5.....	79
ANÁLISE DOS RESULTADOS COM FOCO NA COMPARAÇÃO DA FROTA.....	79
5.1 Análise dos resultados.....	79
5.2. Comparação entre uso de equipamentos de pequeno e grande porte	81
CAPÍTULO 6.....	82
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	82
6.1. Conclusões	82
6.2. Trabalhos Futuros	83
7. REFERÊNCIAS.....	84
ANEXOS	88
A.1. Tempos de Deslocamento Carregado e Vazio de Alguns Caminhões da Caterpillar	88
A.2. Tempos de Deslocamento Carregado e Vazio de Alguns Caminhões da Komatsu	91
A.3. Lista de Algumas Escavadeiras de Uso na Mineração À Céu Aberto	93
A.4. Lista de Alguns Caminhões de Uso na Mineração À Céu Aberto	97
A.5. Componentes necessários para estimativa da produtividade dos equipamentos.....	100
A6. Dimensionamento de equipamentos de pequeno e grande porte para um projeto de 20 anos	102
A7. Tempos de espera dos caminhões em serem carregados pelas escavadeiras	106

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos representa em forte aporte de investimentos na indústria de mineração. Novas tecnologias de equipamentos de mineração foram desenvolvidas a partir da demanda dos recursos. Diversos programas e modelos que auxiliam a tomada de decisões na rotina dos trabalhos de dimensionamento e alocação de equipamentos facilitaram e melhoraram o desempenho dos processos na mineração mundial.

O dimensionamento de equipamentos de lavra corresponde ao processo para a seleção e compatibilização de equipamentos de escavação, carga e transporte dentro de uma mina segundo uma estratégia previamente estabelecida. Essa etapa deve atender aos objetivos de curto, médio e longo prazo, maximizando o valor econômico da empresa, mas muitas vezes afetado por restrições técnicas, operacionais e de segurança. Em função dessas restrições e condicionantes, dimensionamento de equipamentos e frotas deve ser revisado periodicamente. Entre os aspectos que devem ser sistematicamente verificados estão: os tempos de ciclo, as condições operacionais, consumos de peças e combustível, vida útil dos equipamentos, os fatores mecânicos, a depreciação, dentre outros. O dimensionamento de equipamentos está baseado em um processo de seleção e compatibilização dos equipamentos para a movimentação do material mineralizado e estéril dentro do empreendimento, criado a partir das características dos equipamentos, das condições operacionais e do projeto da lavra no tocante a produção anual planejada. As etapas envolvidas são normalmente sequenciais e após a decisão sobre os tipos e o porte destes equipamentos a serem utilizados no empreendimento, compreendem a determinação do número (quantidade) e o custo destes, a criação de planos de produção, contendo as descrições das atividades específicas a serem executadas.

Existem diversos exemplos de minas a céu aberto, onde não existe um dimensionamento adequado em relação ao porte da operação e tamanho de equipamentos de mineração. A falta de harmonização dessa relação gera em muitos casos desperdício, diminuição de produtividade e consequentemente aumento de custos operacionais e capitais. Erro no dimensionamento dos equipamentos pode levar a empresa a super ou subestimar os equipamentos necessários, o que pode gerar em ambos os casos aumento de custos e na situação de subdimensionamento diminuição de produtividade.

1.1. Meta

A meta desta dissertação é elaborar uma metodologia para dimensionamento de frota de equipamentos móveis para projetos conceituais de mineração e dimensionar uma frota de carregamento e de transporte para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de produção.

1.2. Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é o desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamentos de mineração, que visa à escolha de equipamentos para a extração de um determinado recurso mineral, buscando uma maximização do valor do empreendimento sem negligenciar as principais incertezas e riscos potencialmente envolvidos.

Como objetivos secundários do trabalho, podemos citar:

- Permitir a um profissional qualificado, realize a seleção prática preliminar de equipamentos de extração para um empreendimento de mineração;
- Possibilitar a aplicação de técnicas capazes de lidar com as características dos equipamentos de modo a processar as medidas de riscos ao longo do desenvolvimento da forma de escolha de um determinado modelo, marca ou tipo de equipamento;
- Oferecer uma forma flexível, no sentido de poder selecionar e compatibilizar os equipamentos de mineração;
- Estabelecer um modelo de dimensionamento final de equipamento de mineração abrangente, seguro e operacional, que pode ser usado por qualquer técnico ou profissional qualificado.
- Aplicar a um estudo de caso o modelo desenvolvido para demonstrar os cálculos do dimensionamento de frota.

1.3. Justificativa do Trabalho

Os principais elementos que justificam a escolha da linha de pesquisa, ora proposta, a seguir estão apresentados:

- Relevância e implicações econômicas envolvidas: os equipamentos de mineração representam mais de 50% dos custos envolvidos numa exploração mineira, e o dimensionamento destes serve como principal suporte no processo decisório sobre a realização, continuidade ou rejeição de um empreendimento de mineração;

- Utilização global, tanto em abrangência quanto em integração: devido à sua complexidade, existe uma tendência de acomodar os modelos que servirão de suporte aos processos do dimensionamento de equipamentos em programa preconcebidos, buscando a conveniência de resolução por algumas técnicas conhecidas e de fácil utilização como é o caso do Excel.

De modo a melhor ilustrar os pontos apresentados como justificativas da presente pesquisa, a **Error! Reference source not found.** sintetiza o processo típico de compatibilização de equipamento criado a partir de um modelo de dimensionamento destes. Através dos diagramas apresentados, pode se observar o fluxo dos elementos que condicionam seu processo.

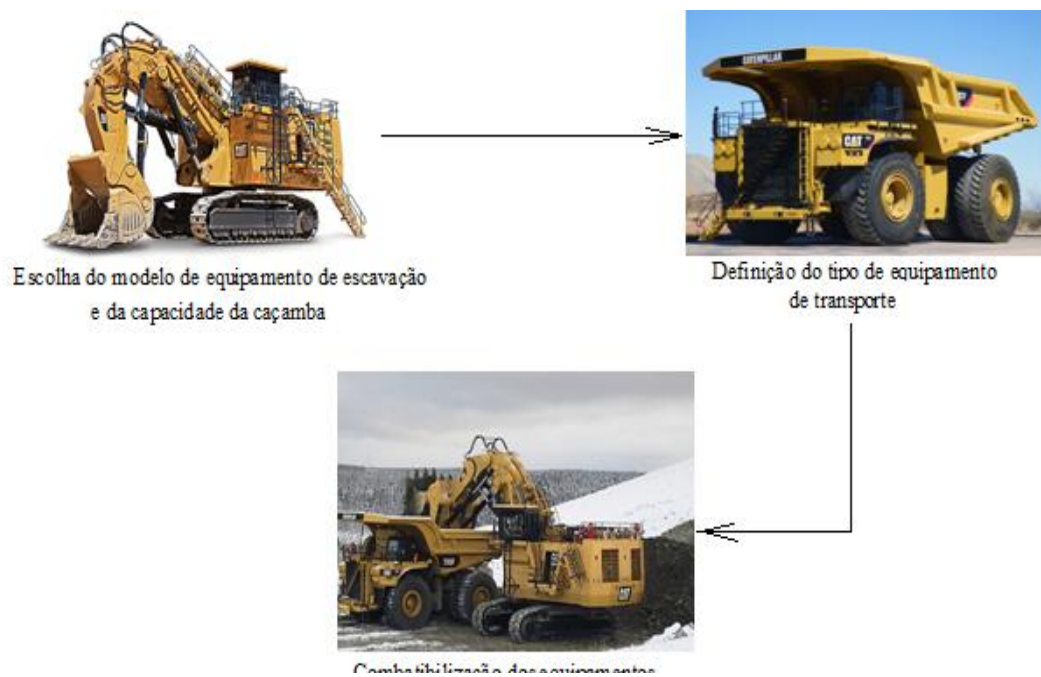


Figura 1: Processo típico de escolha e compatibilização de equipamento de mineração

1.4. Relevância do Trabalho

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos, aliada ao grande momento que vive o mercado mundial de bens minerais, propicia e estimula o desenvolvimento e aperfeiçoamento de ferramentas e métodos que auxiliem a tomada de decisão na rotina de trabalho de planejamento e operações de mineração, e a extração mineral a céu aberto é caracterizada por ser uma atividade de alto custo de investimento, na qual o processo de tomada de decisão possui uma elevada complexidade devido às características estocásticas do sistema.

Um dimensionamento otimizado da frota de equipamentos de lavra reveste-se de grande importância, uma vez que os custos envolvidos, de capital ou de operação, representam, quase

sempre, uma parcela considerável dos custos de uma mina. Neste contexto, diversos estudos de métodos, técnicas e ferramentas para dimensionamento e seleção de equipamentos são importantes para proporcionar formas rápidas e eficientes de se obter uma solução prática nesse processo.

A utilização de algumas técnicas já consagradas na indústria de mineração, visou assegurar a operacionalidade e imediata aplicação do modelo proposto no dimensionamento de equipamentos de mineração. O conceito inovador apresentado neste estudo está associado a não limitação ao acesso do modelo, à extensão do uso, ao seu caráter educacional e aplicação direta para o dimensionamento de equipamentos de lavra. Ou seja, de modo a ratificar a operacionalidade dos resultados do presente estudo, as técnicas utilizadas foram baseadas em técnicas comprovadamente funcionais, flexíveis e suficientes para incorporar os processos e o nível de detalhes necessários, suas distintas variáveis, a grande quantidade de dados a serem processados e ainda permitir a aplicação de variadas formas de utilização, tanto a céu aberto, quanto subterrânea, dentro dos parâmetros estabelecidos no estudo. O principal benefício do estudo proposto é assegurar que o processo de dimensionamento de equipamentos de mineração tome em consideração as oportunidades de aprovação e sucesso, sem, no entanto negligenciar os elementos de incertezas e análise de riscos, inerentes aos dados ou parâmetros utilizados, sendo estes melhor controlados quando a seleção dos equipamentos a usar para o empreendimento seja bem executada.

1.5. Estrutura da Dissertação

Os capítulos desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

Capítulo 1: Introdução. É apresentada uma breve abordagem sobre dimensionamento e seleção de equipamentos para mineração. Onde a partir da importância em se fazer um correto dimensionamento das frotas de carregamento e transporte são apresentadas a justificativa, os objetivos gerais e específicos para esta dissertação.

Capítulo 2: Revisão do Estado da Arte. É apresentada a fundamentação teórica do trabalho, com considerações sobre seleção e dimensionamento de equipamentos de carregamento e transporte em termos da literatura disponível sobre o assunto, definição dos parâmetros fundamentais para estimativa de produtividade dos equipamentos, compatibilização dos equipamentos, bem como estudos feitos sobre o tema apresentado.

Capítulo 3: Metodologia. Tem-se a descrição do procedimento metodológico deste trabalho, enfatizando-se sua natureza, a classificação e as etapas seguidas para obtenção dos resultados

experimentais, e também se faz a apresentação de uma implementação computacional, desenvolvida no âmbito desta dissertação, destinada ao cálculo de capacidade da concha, do número de escavadeiras e de caminhões, assim como do tempo de espera de carregamento dos caminhões.

Capítulo 4: Estudo de Caso: é apresentado o dimensionamento de equipamentos de escavação e de transporte utilizando um estudo de caso prático.

Capítulo 5: Análise de Resultados. Para este capítulo é apresentada a análise dos resultados e comparação dos equipamentos de pequeno e grande porte dimensionados no presente estudo.

Capítulo 6: Conclusões e trabalhos futuros. Apresenta-se um conjunto de conclusões e propostas de desenvolvimentos futuros, resultantes do trabalho desenvolvido.

Capítulo 7 Revisão Bibliográfica. São listadas as referências utilizadas para o desenvolvimento da fundamentação teórica deste trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

Serão apresentadas neste capítulo considerações para seleção, dimensionamento e compatibilização de equipamentos de carregamento e de transporte em termos da literatura disponível sobre os assuntos, definição de parâmetros de produtividade dos equipamentos, bem como a substituição dos mesmos depois da sua vida útil.

2.1. Explorações Mineiras a Céu Aberto

COUTO (1990), define como explorações mineiras à céu aberto, aquelas em que os trabalhos de escavação são desenvolvidas ao ar livre e dirigidas a depósitos superficiais, ou aquelas em que os locais de trabalho não são constituídos por escavações cercadas em todo o seu perímetro pelos terrenos encaixantes. Em oposição, as lavras subterrâneas, são atividades executadas no subsolo e são aplicadas a depósitos mais profundos, o que não significa que ambas se excluam na exploração do mesmo depósito. E as explorações subterrâneas conduzidas a partir da superfície são de aplicações menos geral e atualmente restritas a extrações sob a forma de fluidos, como exemplo da exploração de petróleo, de sais sódico-potássicos, de gases combustíveis naturais, etc.

De um modo geral, a mineração à céu aberto proporciona um acréscimo de produtividade no trabalho em relação à mineração em subsolo, apesar de, às vezes, penalizar no aspecto qualidade do produto (ROM) em função de perda de seletividade e efeito escala. Esse aumento de produtividade teve origens após a segunda grande guerra com a introdução de novos explosivos, novas máquinas de perfuração, aumento da capacidade das máquinas de desmonte, melhoria dos processos de beneficiamento dos minerais e uso de equipamentos de escavação e de transporte de grandes capacidades.

2.2. Operações e Equipamentos Principais de Mineração

2.2.1. Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto

Segundo QUEVEDO et al (2009), as operações de carregamento e de transporte consistem em retirar o material extraído da frente de lavra até diferentes pontos de descarga. Em minas a céu aberto as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada, quando necessário. Então a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos pás carregadeiras ou escavadeiras que estão estrategicamente distribuídos nas frentes de lavra para atender à demanda de produção. Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, (caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros). O equipamento de transporte transporta o material até um determinado ponto de descarga, esses pontos de descargas podem ser britadores, pilha estéril ou pilha pulmão, e o ciclo da operação recomeça, sendo realizada de forma contínua.

COUTO (1990), diz que “as operações fundamentais na lavra à céu aberto são praticamente as mesmas da lavra subterrânea, embora algumas delas sejam mais simples e até em certos casos de diminuta importância, sendo de destacar a inexistência de sustentação do teto e de um menor ou nulo emprego de explosivos”. É evidente que as operações de carga e de transporte ocorrem tanto em um como no outro tipo de lavra, mas elas permitem o emprego de equipamentos mais avantajados em métodos de lavra à céu aberto.

A sequência ou ciclo normal das operações da lavra fundamentais a céu aberto pode ser sintetizada segundo o diagrama apresentado na **Error! Reference source not found.** Essas operações podem ser executadas no estéril sobrejacente e ou no minério, simultaneamente ou defasadamente, desde que tenha se liberado superficialmente o minério de interesse.

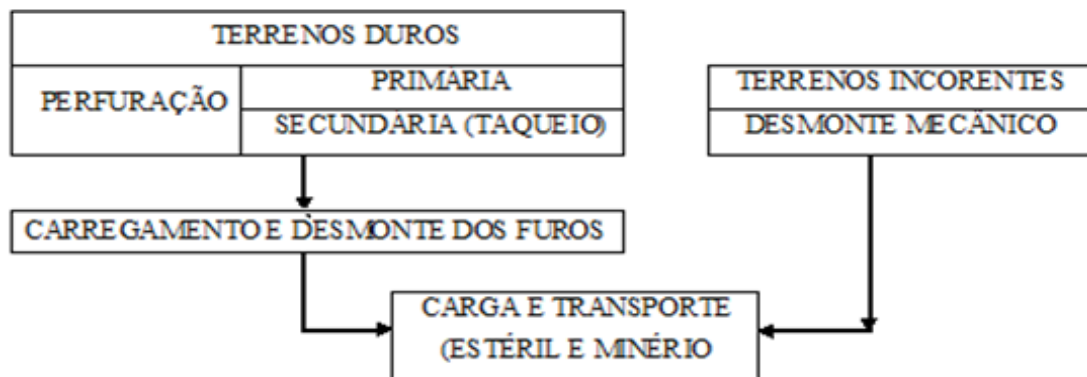


Figura 2: Ciclo normal de operações mineiras. Fonte: Couto (1990)

2.2.2. Equipamentos de Escavação

De acordo com JAWORSKI (1997), os equipamentos de escavação podem ser subdivididos em cinco grupos, em função do tipo de serviço de escavação a que se destinam:

1. Equipamento escavador deslocador: São equipamentos que executam inúmeros serviços em obras de escavação, constituindo-se na base fundamental da mecanização na terraplenagem. As máquinas (tratores) se completam como equipamentos de escavação e transporte, pela colocação do implemento denominado de lâmina (Figura 3);



Figura 3: Trator de esteira. Fonte: Caterpillar (2007)

2. Equipamento escavador transportador (“scraper”): são equipamentos capazes de executar a escavação do material, recolhê-lo em uma caçamba, efetuar o transporte desse material ao local conveniente e promoverem a sua descarga (Figura 4);



Figura 4: Scraper. Fonte: Caterpillar (2007)

3. Equipamento nivelador: São máquinas equipadas com lâmina dotada de uma variada movimentação, pois podem ser levantada ou abaixada, girar em torno de um eixo e ter o movimento de translação provocado pelo deslocamento do seu conjunto. São equipamentos adequados para nivelar terrenos, manutenção de estradas, conformar superfícies e taludes, abrir valetas de pouca profundidade e espalhar materiais sobre superfícies (Figura 5);



Figura 5: Motoniveladora: Fonte: Faria (2010)

4. Equipamento escavador elevador: São equipamentos que possuem a característica de executar a escavação com a máquina estacionada, isto é, sem se deslocarem na fase do carregamento de sua concha ou caçamba. Escavam em terrenos brandos e em alguns casos duros, descarregam ao lado o material e pode proceder a descarga em unidades de transporte (Figura 6).



Figura 6: Escavadeiras com as duas formas de configuração da concha (retro e frontal, respetivamente). Fonte: Liebherr (2009/10)

5. Equipamento escavador carregador: São equipamentos constituídos pelos tratores de rodas ou esteiras equipados com caçamba frontal a qual é acionada através de um sistema de braços articulados. A caçamba permite a elevação do material nela depositado para um posterior despejo em unidades de transporte (Figura 7).



Figura 7: Carregadeira frontal sobre pneus. Fonte: Faria (2010)

Estes equipamentos para efetuarem cada uma das operações de lavra (escavação, carga e transporte), devem se adaptar ao tipo de terrenos em que se operam. Assim, escavar e remover terrenos duros e compactos é muito diferente do que realizar estas operações em terrenos inconsolidados ou brandos, sendo necessariamente diferentes os procedimentos. Ao pretender selecionar os equipamentos para realizar essas operações de arranque, carga e transporte, torna-se necessário conhecer os terrenos a trabalhar.

Pela necessidade e natureza da grande maioria das operações de lavra a céu aberto, para o processo de escavação, neste trabalho irá se dar mas ênfase ao quarto grupo de equipamentos, os equipamentos escavadores elevadores. Considerando que, seja em operações onde o desmonte seja mecânico ou com uso de explosivos, essa classe de equipamentos é sem dúvida a mais utilizada em operações de lavra a céu aberto.

2.2.2.1. Equipamentos Escavadores Elevadores

De acordo com SOUZA (2001), as escavadeiras, também denominadas de giratórias, surgiram na primeira metade do século XIX onde inicialmente eram movidas a vapor e montadas sobre carris ferroviários. Desde o início dos anos 60 do século passado, tornaram-se comuns as escavadeiras totalmente hidráulicas e elétricas, mais compactas e robustas que as escavadeiras de cabos clássicas. Em mineração a céu aberto utilizam-se amplamente as escavadeiras de uma caçamba e de caçambas múltiplas. Onde as escavadeiras de uma caçamba são utilizadas em diversas situações mineiras e com qualquer dureza de rocha (combinadas ou não com o desmonte com explosivos dependendo da competência do maciço).

As operações de carregamento e transporte consistem em retirar o material extraído da frente de lavra até diferentes pontos de descarga.

Segundo QUEVEDO (2009), a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes de lavra. Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros. O equipamento de transporte transporta o material até um determinado ponto de descarga, esses pontos de descargas podem ser britadores, pilha estéril ou pilha pulmão, e o ciclo da operação recomeça, sendo realizada de forma contínua.

Para RICARDO e CATALANI (2007), as operações de escavação e carregamento podem ser feitas pelo mesmo equipamento ou por equipamentos distintos, e os equipamentos mais utilizados para as operações de escavação e carregamento são escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, motoscrapers, dragas.

2.2.2.2. Produtividade dos Equipamentos de Carregamento

Segundo SILVA (2009), a produtividade dos equipamentos de carregamento na mineração a céu aberto, depende com que o projeto da mina e o planejamento de lavra sejam adequados à jazida e que os equipamentos selecionados estejam ajustados às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. Assim sendo, o tipo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade dependem dos seguintes fatores:

- Porte dos empreendimentos: vida da mina, taxa de produção, método de lavra;

- Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, diferença de nível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões;
- Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “in-situ”, empolamento, umidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- Projeto de deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;
- Projetos das estradas: largura das estradas (recomenda-se uma largura mínima de pista igual a 3,5 vezes a largura do caminhão, o que deixa uma faixa igual a meio caminhão de largura entre os veículos que se cruzam e nas laterais. Caso a faixa seja estreita, o motorista se sentirá inseguro e reduzirá a velocidade ao se aproximar um veículo em sentido contrário), inclinação longitudinal das rampas de acesso, raio de curvatura em trechos curvos, acabamento da superfície de rolamento;
- Planejamento de lavra: número de frentes simultâneas, relação estéril/minério, frequência de deslocamento entre as frentes de lavra;
- Destino do minério: distância, tipo, dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério do caminhão, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros.
- Infraestrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc.;
- Equipamentos para demais operações: manutenção das estradas e frentes de lavra desmonte de minério e do estéril etc.

2.2.2.3. Parâmetros Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos

Como forma de auxílio à tomada de decisão ao planejamento dos equipamentos de carregamento, e dimensionamento dos mesmos, os cálculos de estimativa de produtividade são indispensáveis no processo de seleção de equipamentos.

Segundo SILVA (2009), para os cálculos de estimativa de produção é necessário considerar alguns parâmetros fundamentais tais como:

1. Volume da caçamba ou concha (Vc)

O volume da caçamba ou concha representa a capacidade operacional, rasa ou coroada (Figura 8), conforme o caso dos equipamentos de carregamento, essa capacidade pode ser calculada pela equação 1.

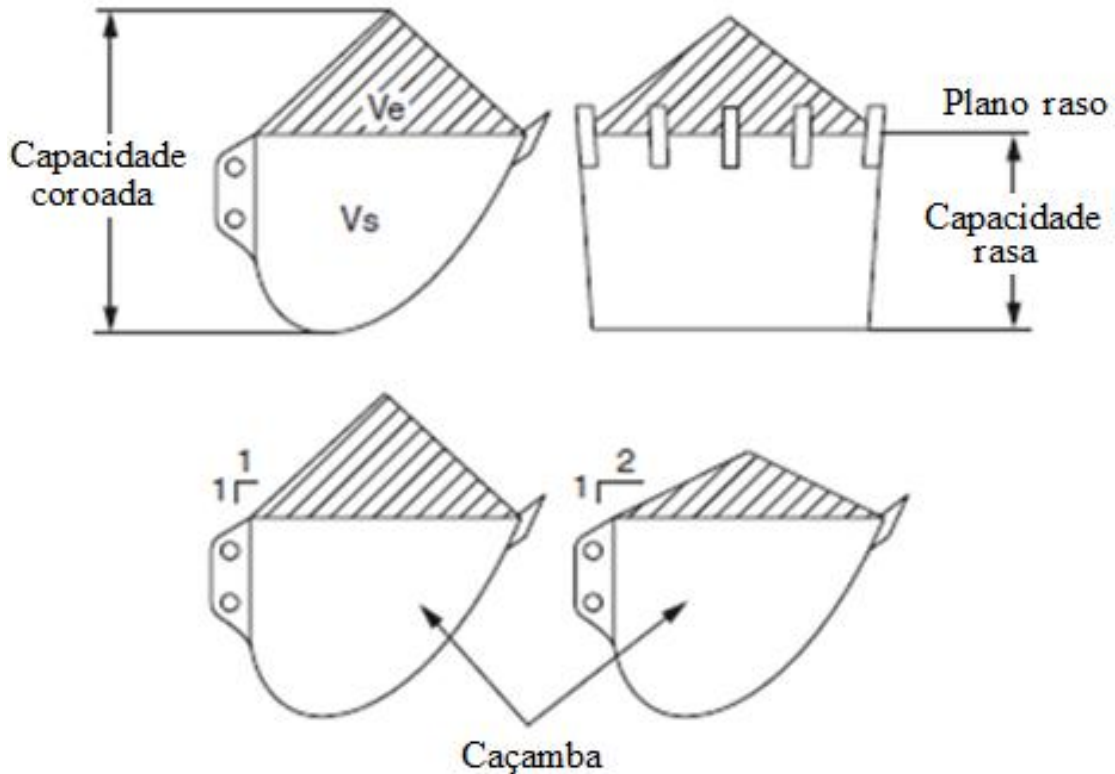


Figura 8: Volume de caçamba ou concha de um equipamento. Fonte: Komatsu (2008)

$$V_c = \frac{C_{\max}}{P_{\text{esp}}} \quad (1)$$

Onde:

- V_c é o volume da caçamba ou concha do equipamento;
- C_{\max} é a carga máxima admissível na caçamba ou concha;
- P_{esp} é o peso específico do material solto.

2. Forças de Arranque e Ataque

Segundo CATERPILLAR (2012), a penetração da caçamba no material é alcançada pela força de arranque da caçamba (F_B) e pela força de ataque do braço (F_S). As forças de escavação nominais são as forças de escavação que podem ser exercidas no ponto mais extremo de corte (Figura 9).

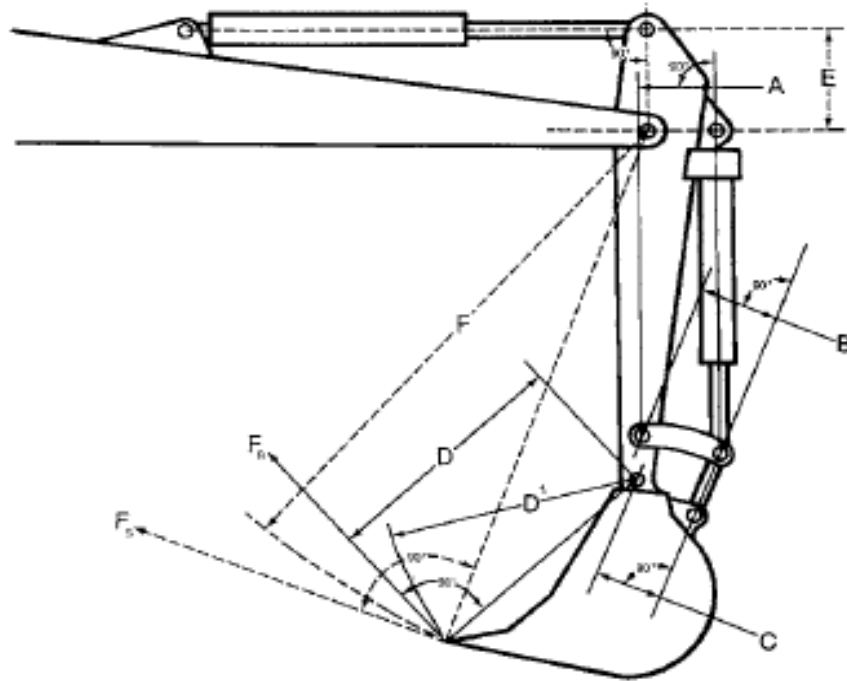


Figura 9: Força de arranque e de ataque das caçambas das escavadeiras. Fonte: Caterpillar (2012)

Estas forças podem ser calculadas aplicando-se pressão de alívio hidráulica operacional ao(s) cilindro(s) que proporciona(m) a força de escavação (Equação 2).

$$F_B = \frac{F_C}{C_{BD}} \times \left(\frac{B_A \times B_C}{B_B} \right) \quad (2)$$

Onde:

- F_B é a força radial dos dentes exercida pelo cilindro da caçamba;
- F_C é a força do cilindro da concha;
- C_{BD} é o comprimento do braço D;
- B_A , B_B e B_C são os braços A, B e C respectivamente.

Por sua vez, a força do cilindro é dada pela equação 3

$$F_C = P \times A \quad (3)$$

Onde:

- P é a pressão e A é a área da extremidade da concha do cilindro.

A força radial máxima dos dentes exercida pelo cilindro do braço (força de ataque do braço) é a força de escavação gerada pelo(s) cilindro(s) do braço e tangente ao arco de raio F.

3. Fator de Enchimento da Caçamba (Q_U)

É um 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 (Figura 10).



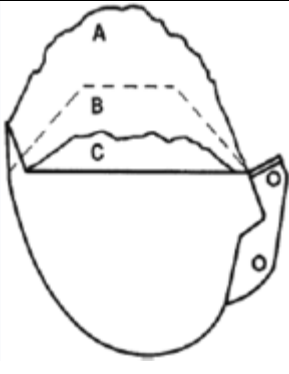
Figura 10: Exemplo de fator de enchimento da concha acima da capacidade nominal. Fonte: Komatsu (2008)

A capacidade da concha e do tipo de material é descrita pela Equação 4:

$$Q_U (\text{m}^3) = V_C \times F_{EB} \quad (4)$$

Onde: F_{EB} é o fator de enchimento da caçamba. Este depende do material escavado e corresponde à razão entre o volume real contido na caçamba e volume da concha, **Error! Reference source not found.**

Tabela 1: Fator de enchimento. Fonte: Caterpillar (2012)

	Material	F_{EB} – Fator de enchimento
	Argilas úmidas e argilas arenosas	A – 100 -110%
Areia e cascalho	B – 95 – 110%	
Argila dura, resistente.	C – 80 – 90%	
Rocha, bem fragmentada.	60 – 75%	
Rocha, mal fragmentada.	40 – 50%	

4. Seleção da Caçamba

Segundo CATERPILLAR (2012), a combinação da força de ataque do braço das escavadeiras hidráulicas e da força de arranque da caçamba dá a esta configuração de máquinas mais força efetiva de penetração da caçamba por mm (polegada) de borda cortante da caçamba do que a força disponível em outros tipos de máquinas, tais como carregadeiras de rodas ou de esteiras. Como resultado da alta força de penetração, a caçamba das escavadeiras fica relativamente mais fácil de preenchida. Além disso, as forças de desagregação por unidade de área, sendo maiores, permitem estender a faixa de aplicação econômica das escavadeiras aos solos mais duros (coral, solo salitroso, xisto, pedra calcária) antes que se torne necessário usar explosivos ou escarificação. Para tirar o máximo proveito das altas forças de penetração das escavadeiras, é necessário selecionar as caçambas de modo que elas se adaptem bem às condições do solo encontradas.

Dois aspectos importantes a considerar são a largura da caçamba e o raio das pontas da caçamba. Como regra geral, usam-se caçambas largas em solo de fácil escavação, e as estreitas em materiais mais duros (Figura 11). Em solos de rocha dura, o raio das pontas da caçamba também deve ser considerado.

Como as caçambas com pontas de raio menor geram mais força de arranque do que as caçambas com pontas de raio maior, elas são geralmente mais fáceis de carregar.

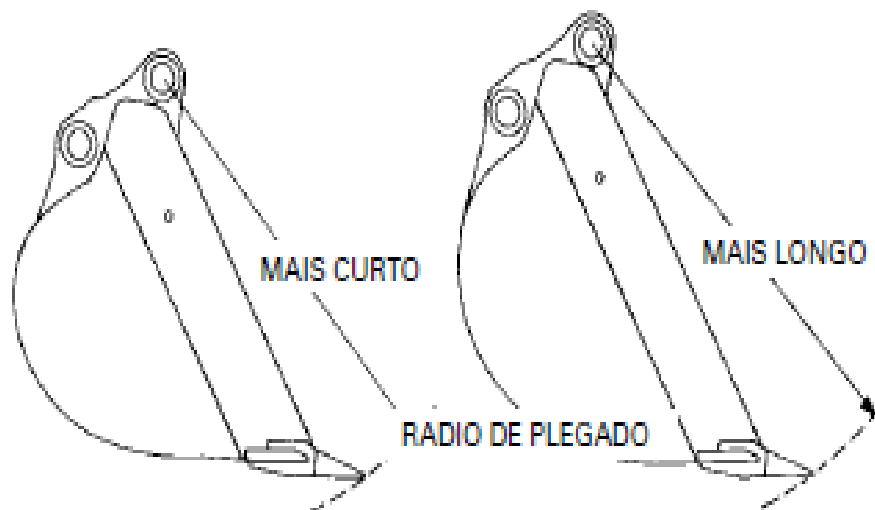


Figura 11: Largura das caçambas ou concha. Fonte: Caterpillar (2012)

5. Empolamento (E)

É o aumento de volume que a rocha apresenta depois de fragmentada, ou mais amplamente, é o aumento de volume em relação a um estado anterior de maior compactação (Figura 12).

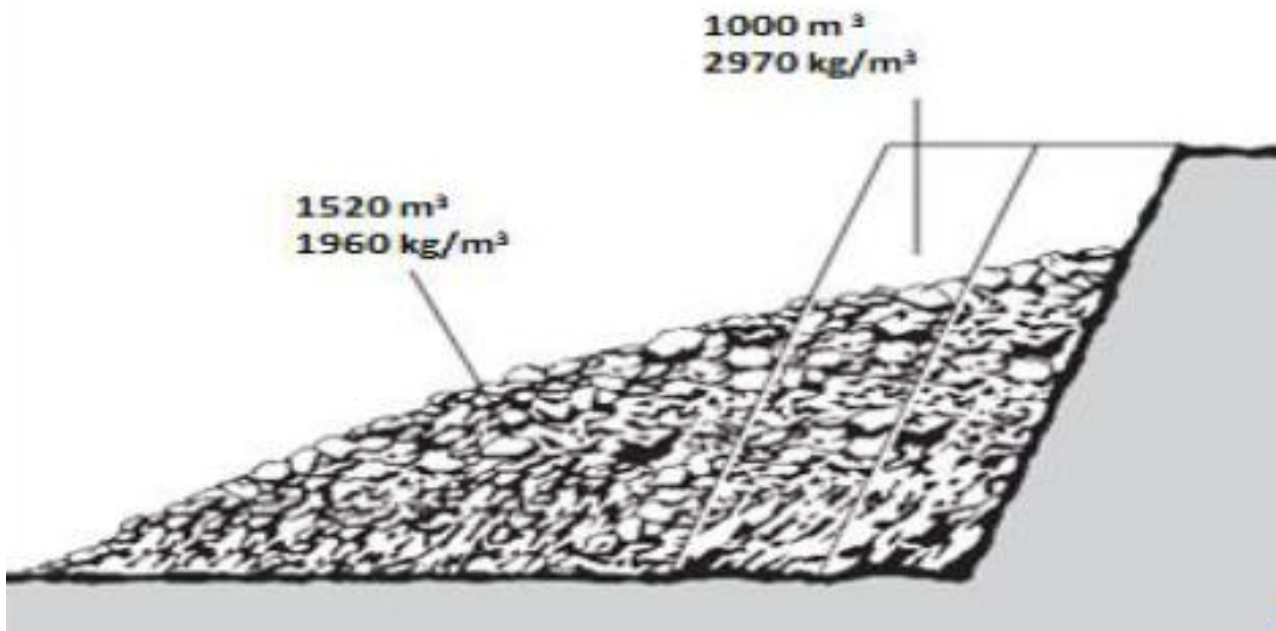


Figura 12: Representação esquemática do aumento de volume de material empolado. Fonte: Caterpillar (2012)

O empolamento é dado pela equação 5.

$$E = (\lambda - 1) \times 100\% , \text{ onde } \lambda = \frac{\gamma_c}{\lambda_s} \text{ e } V_s = V_c \times \frac{\gamma_c}{\lambda_s} = \lambda \times V_c, \quad (5)$$

Onde:

- λ é o fator de empolamento,
- γ_c é o peso específico do material no corte;
- γ_s é o peso específico do material empolado ou solto,
- V_c é o volume originalmente no corte ou in situ; e
- V_s é o volume do material rochoso após a fragmentação.

6. Carga de Tombamento

É a carga que faz com que uma escavadeira hidráulica equipada para determinada finalidade e, considerando a posição em que a sustentação é mais desfavorável, perca o equilíbrio e tombe.

7. Fator de Disponibilidade do Equipamento

Segundo GREGORY, (2000), a palavra de disponibilidade é extremamente flexível e a sua correta determinação é primordial para os cálculos de rendimento em longo prazo. Os 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 do equipamento se divide em dois:

- Disponibilidade Mecânica calculada pela equação 6:

$$DM = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100\% , \text{ e} \quad (6)$$

- Disponibilidade Física que corresponde à parcela das horas programadas em que o equipamento está apto para operar, isto é, não está à em manutenção, segundo a equação 7.

$$DF = \frac{HP - HM}{HP} \times 100\% \quad (7)$$

Onde:

- HT é total de horas teóricas possíveis no período, exemplo, por ano;

- MP é manutenção preventiva, compreendendo todo o serviço programado, conservação e inspeção dos equipamentos, executados com a finalidade de manter o equipamento em condições satisfatórias de operação;
- MC é manutenção corretiva. Significa o serviço executado no equipamento com a finalidade de corrigir deficiências que possam acarretar a sua paralisação;
- TP é o tempo perdido correspondente à locomoção da máquina por motivos de desmonte de rocha ou outros intervalos de operação (almoço, café, troca de turno, entre outros).
- DF é a disponibilidade física que representa a percentagem do tempo que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a produção;
- HP corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;
- HM corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

8. Fator de Utilização do Equipamento

É o fator aplicável sobre as horas disponíveis do equipamento. Corresponde à parcela em que o equipamento está efetivamente em operação. Os fatores tais como número de unidades ou porte compatível, maior ou menor que o requerido; paralisação de outros equipamentos; falta de operador; deficiência do operador; condições climáticas que impeçam a operação dos equipamentos; tipo de desmonte de rocha na mina e preparação das frentes de lavra influencia na utilização de um equipamento. O fator de utilização é calculado pela equação 7.

$$U = \frac{HT}{HP - HM} \times 100\% \quad (8)$$

Onde:

- HT é total de horas efetivamente trabalhadas;
- HP corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, levando em conta a disponibilidade mecânica e ou elétrica;
- HM são as horas de reparos na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque de equipamentos auxiliares.

9. Rendimento ou Eficiência Operacional

Segundo COUTO (1990), é de máxima importância que a produção seja mantida em ritmo estável. É esta eficiência de trabalho que resulta em maior lucratividade. Fatores devido às paradas, atrasos ou deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento devem-se, entre outros, aos motivos tais como características do material, supervisão no trabalho, esperas no britador, falta de caminhão, maior ou menor habilidade do operador, interrupções para a limpeza da frente de lavra, desmontes de rochas, capacidade da caçamba e pequenas interrupções devido aos defeitos mecânicos, não computados na manutenção. A eficiência de operação ou rendimento é a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, é o produto da disponibilidade física pela utilização (Equação 9).

$$R = D_f \times U \quad (9)$$

10. Tempo de Ciclo da Escavadeira

É o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações como, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento, etc. O tempo de ciclo total de uma operação é o somatório de tempo de todas as atividades que compõem essa operação.

Para uma escavadeira, o tempo de ciclo de trabalho normalmente consiste em tempo de carregamento (T_C), tempo de rotação com caçamba carregada (T_{RC}), tempo de descarga ou basculamento (T_D) e tempo de rotação com caçamba descarregada (T_{RD}). O ciclo só estará concluído quando a máquina estiver posicionada de forma a iniciar um novo ciclo, ou seja, pronta para iniciar o carregamento. A duração do tempo de ciclo de uma escavadeira é igual à soma dos quatro tempos como mostra a equação 10:

$$T_{\text{ciclo}} (s) = T_C + T_{RC} + T_D + T_{RD} \quad (10)$$

O tempo total do ciclo da escavadeira depende do tamanho da máquina (máquinas pequenas podem completar o ciclo mais depressa que máquinas grandes) e das condições operacionais. Em condições operacionais muito boas, a escavadeira pode completar o ciclo com rapidez. À medida que as condições do trabalho tornam-se mais severas (escavação mais dura, profundidade de escavação, mais obstáculos etc.), a escavadeira diminui a velocidade. O tempo para o enchimento da caçamba aumenta à medida que a escavação torna-se difícil em função da consistência do solo. À medida que

a vala torna-se mais profunda e o monte do despejo maior, a caçamba tem que percorrer um deslocamento mais longo e a estrutura superior tem que oscilar a uma distância maior a cada ciclo de escavação.

Segundo JAWORSKI (1997), cada tempo é dependente de diferentes condições, umas podem afetar a totalidade do ciclo, como é o caso do tamanho da máquina, experiência do operador, presença de obstáculos ou proximidade de pessoas. Outras influenciam particularmente uma das partes do ciclo. Por exemplo, um material compacto/plástico dificulta as operações de carregamento e descarregamento, aumentando o tempo de carregamento e tempo de descarregamento. A posição da máquina em relação ao local de escavação pode influenciar o tempo de carregamento, pois um mau posicionamento ou uma profundidade ou altura elevada de escavação limitam as forças de ataque e arranque. Esta também influencia os tempos de rotação, tempo de rotação com a concha carregada e tempo de rotação com a caçamba descarregada, pois aumenta amplitude dos movimentos da ferramenta de escavação. Para o tempo de rotação com a concha carregada e o tempo de rotação com a concha descarregada, o fator com maior influência é o ângulo de rotação da estrutura giratória, este é dependente das posições relativas, do local de carregamento e do local de descarregamento.

a) **Tabela de Estimativa de Tempo de Ciclo**

De acordo com DARLING (2011), a tabela de estimativa de tempo de ciclo descreve a variação do tempo total de ciclo que se pode esperar em condições operacionais que variam de excelentes a severas. Numerosas variáveis afetam a velocidade com que a escavadeira é capaz de realizar o seu trabalho. A tabela define os limites dos tempos dos ciclos frequentemente experimentados com uma máquina e fornece um guia do que é um trabalho “fácil” ou “duro”. O estimador pode então avaliar as condições de seu trabalho e utilizar a tabela de estimativa de tempo de ciclo para selecionar a faixa apropriada de trabalho. Um método prático para calibrar ainda mais a tabela de estimativa de tempo de ciclo consiste em observar as escavadeiras em ação no campo e correlacionar os tempos dos ciclos medidos às condições operacionais, à habilidade do operador etc.

A **Error! Reference source not found.** resume os tempos típicos de ciclo (obtidos por dados empíricos) das escavadeiras

Caterpillar, considerando:

- Ausência de obstruções no terreno em questão

- Condições de trabalho acima da média
- Um operador de habilidade média e
- Ângulo de giro de 60-90°.

Esses tempos diminuem à medida que as condições operacionais ou a habilidade do operador melhoram e aumentam à medida que as condições operacionais se tornam menos favoráveis.

Tabela 2: Tempos de ciclo típicos das escavadeiras da Caterpillar. Fonte: Caterpillar (2012)

TABELA DE ESTIMATIVA DE TEMPO DO CICLO														
TEMPO DE CICLO	CATEGORIA DE TAMANHO DA MÁQUINA													TEMPO DE CICLO
	307C 308D CR 308D CR SB	311D	M313D 312D	M315D M316D 315D L	M318D 319D L 319D LN	M322D 320D 320D RR 321D CR 323D	324D	328D LCR	329D	336D	345D	365C L	385C	
10 S.								N/D						0,17 min.
15								N/D						0,25 min.
20 S.								N/D						0,33 min.
25														0,42 min.
30 S.														0,50 min.
35														0,58 min.
40 S.														0,67 min.
45														0,75 min.
50 S.														0,83 min.
55														0,92 min.
60 S.														1 min.

N/A = Não aplicável

b) Tempo de ciclo versus descrição das condições operacionais

Segundo CATERPILLAR (2012), a relação tempo de ciclo versus descrição das condições operacionais é composta por cinco situações a seguir descritas e ilustrado na Figura 13:

- Escavação fácil (terra não compactada, cascalho arenoso, limpeza de valas etc). Escavação a menos de 40% da capacidade de profundidade máxima da máquina. Ângulo de giro inferior a 30°. Basculamento sobre monte em escavação ou sobre caminhão. Ausência de obstruções. Operador bom.

- Escavação média (terra compactada, barro seco duro, solo com teor de rocha inferior a 25%). Profundidade até 50% da capacidade máxima da máquina. Ângulo de giro até 60°. Alvo de despejo grande. Poucas obstruções.
- Escavação média a adversa (solo duro compactado com proporção de rocha de até 50%). Profundidade até 70% da capacidade máxima da máquina. Ângulo de giro até 90°. Carregamento com caminhão perto da escavadeira.
- Escavação adversa (rocha fragmentada ou solo duro com proporção de rocha até 75%). Profundidade até 90% da capacidade máxima da máquina. Ângulo de giro até 120°. Vala escorada. Alvo de despejo pequeno. Operação sobre a equipe de assentamento da tubulação.
- A escavação muito difícil (arenito, solo salitroso, xisto, certas pedras calcárias, congelamento firme). Mais de 90% da capacidade de profundidade máxima da máquina. Oscilação superior a 120°. Carregamento de caçamba em abertura de inspeção. Despejo em alvo pequeno, exigindo alcance máximo da escavadeira. Pessoal e obstruções na área de trabalho.

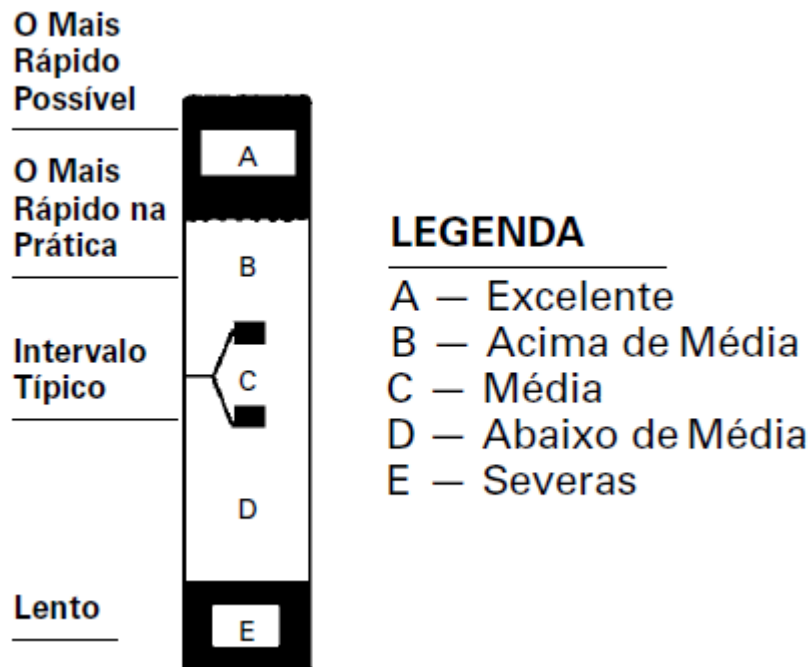


Figura 13: Tempo de ciclo x condições operacionais da escavadeira. Fonte: Caterpillar (2012)

2.2.3. Equipamentos de Transporte

Na mineração existem vários métodos e sistemas de transporte de material, entretanto os mais comuns são o transporte por caminhões e por correias (Figura 14).



Figura 14: Sistemas de transporte. Caminhão (esquerda); Correia (direita). Fonte: Caterpillar (2009)

2.2.3.1. Transporte por Caminhões

Segundo DARLING (2011), o transporte de material na mineração por caminhões é o mais utilizado em todo o mundo. Com o surgimento da mecanização alavancou-se ainda mais a capacidade de mineração. Os equipamentos estão sendo modernizados e os conceitos de carregamento e de transporte se consolidaram. Com o avanço da tecnologia surgiram variações, tais como as escavadeiras elétricas a cabo, diesel-elétricas e hidráulicas.

Para LOPES (2010), os caminhões acompanharam o porte das escavadeiras, mas por falta de tecnologia, foram barrados pelo tamanho dos pneus, caso que ocorreu no mesmo período com as carregadeiras. Nas últimas décadas, a tecnologia de fabricação de pneus avançou e o tamanho dos caminhões e carregadeiras foi ampliado atingindo as capacidades atuais de produção, o que provocou a possibilidade de ajuste de tamanho das escavadeiras para as novas dimensões dos equipamentos de transporte.

Segundo DARLING (2011), o transporte por caminhões consiste basicamente de desmorte do material “in situ”, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmorte por explosivo ou mecanicamente (tratores com auxílio de implementos ou, escavadeiras, dependendo da resistência do material). Outra possibilidade, dependendo da geologia do material lavrado é a própria escavadeira ou carregadeira a escavar e carregar o equipamento de transporte, no caso, caminhões. O transporte do material por caminhões até a estação de britagem, descarga no silo e retorno até a frente de lavra, finaliza o ciclo do método.

Atualmente o mercado oferece caminhões com capacidades variando de 10 toneladas a mais de 400 toneladas, como ilustra a Figura 15, e escavadeiras compatíveis para o carregamento eficiente dos mesmos. A aplicação e o porte do conjunto de carga e transporte estão diretamente ligados à escala de produção, geometrias da cava e geologia da jazida.

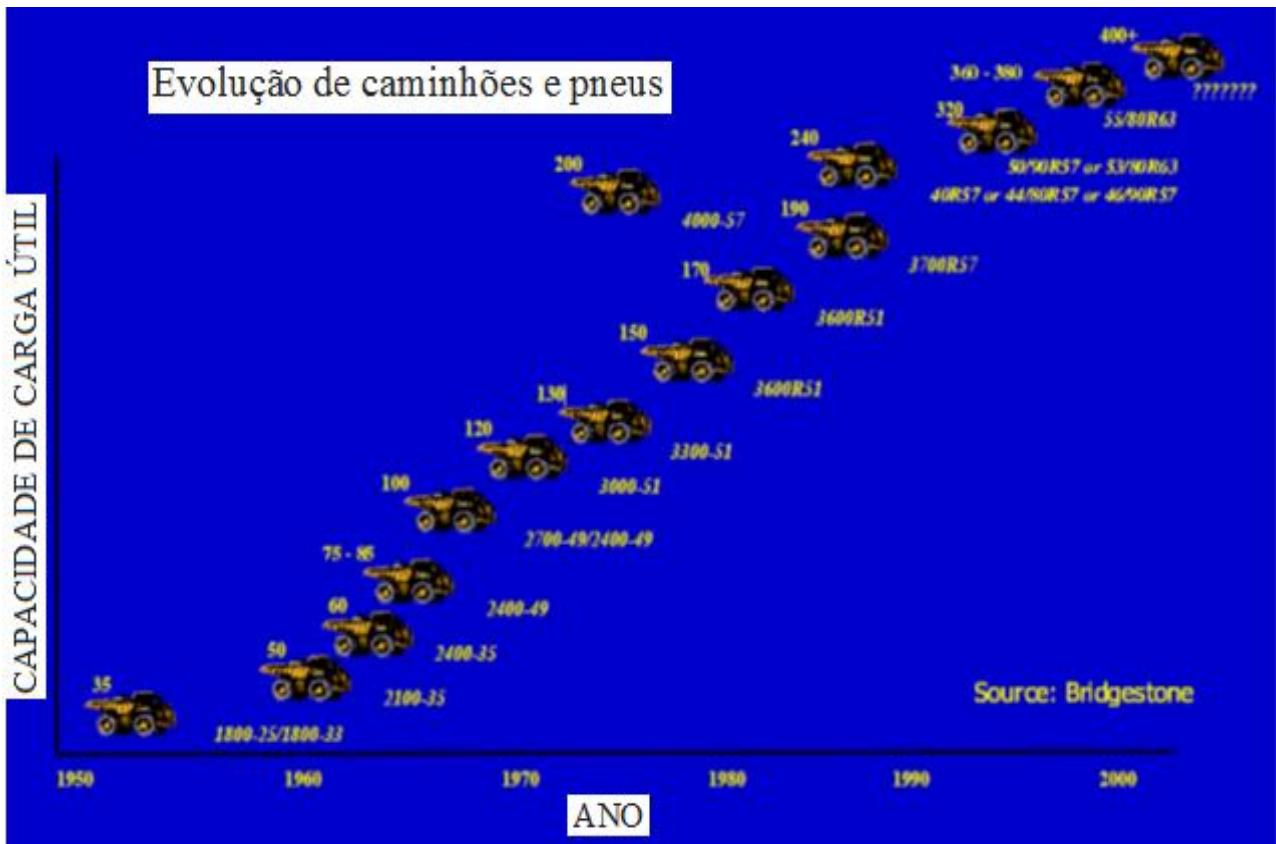


Figura 15: Evolução dos equipamentos de transporte. Fonte: Bridgestone (xxxxx)

2.2.3.2. *Vantagens e desvantagens da mineração com transporte por caminhões*

Segundo LOPES (2010), são vantagens da mineração com transporte por caminhões:

- Alta flexibilidade operacional especialmente quando a mineração seletiva é exigida. O equipamento pode ser transferido para outras frentes de operação conforme necessidade dos planos de mineração;
- A mineração pode ocorrer simultaneamente em vários níveis, facilitando a *blendagem* do material, garantindo a qualidade;
- Os caminhões podem ser deslocados para a operação no estéril quando a estação de tratamento que recebe o minério dos caminhões estiver parada;
- Menor variação nos teores médios do depósito devido à possibilidade de verticalização da mina;
- Facilidade de contratação de mão-de-obra no mercado de trabalho devido à predominância do método por caminhões nas minerações à céu aberto;
- Tempo de posto-em-marcha reduzido. Os caminhões são pré-montados na fábrica por partes e transportados, bastando montar o conjunto total no local da obra;
- O desenvolvimento de estradas e praças para que os caminhões comecem as operações são reduzidos, pois assim que são montados e iniciam as operações a continuidade dos mesmos pode ser feita pela própria frota;
- As operações não são interrompidas quando uma unidade de transporte é paralisada por problemas de manutenção, é possível continuar a atividade até um limite mínimo econômico de caminhões operando simultaneamente;
- Pode-se manter a frota em operação, mesmo quando o silo de descarga estiver paralisado, construindo pilhas reservas estratégicas próximas às estações de descarga, para retomada posterior, quando a frota não puder operar normalmente;
- A relação das operações conjugadas com escavadeiras (shovel ou backhoe), e carregadeiras (esteiras ou pneumáticos), pode ser alterada, caso as dimensões sejam compatíveis, aumentando as opções de carregamento;
- Agilidade na evacuação dos equipamentos das áreas de risco iminente.

Ainda segundo LOPES (2010), são desvantagens da mineração com transporte por caminhões:

- Possui eficiência energética relativamente baixa, dividida em 50% para o próprio deslocamento do seu peso e 50% para o deslocamento das cargas;
- Elevado tempo de deslocamento vazio, em média 50% do tempo de ciclo de transporte é gasto na atividade de retorno da descarga para frente de lavra em operação;
- As estradas são relativamente longas devido à limitação de inclinação das rampas, aumentando a distância de transporte gradativamente à medida que novos níveis de operação são abertos na mina. Recomenda-se o máximo de 10% de inclinação das rampas;
- Custos elevados para a abertura e conservação das vias de acesso dos caminhões;
- Redução e às vezes paralisação das operações devido a chuvas e neblinas que causam instabilidade de tração e baixa visibilidade;
- Necessidade de equipamento de apoio para umetação de vias de acesso com o objetivo de reduzir a poeira (sólidos em suspensão no ar), garantindo a boa visibilidade para o operador e a redução do impacto ambiental da atividade;
- O aumento da distância de transporte implica em incremento no número de caminhões da frota necessário para garantir a produção desejada ou ampliação do porte unitário com aquisição de caminhões de maior capacidade de transporte de carga.

2.2.3.3. Classificação dos Caminhões

Segundo GREGORY, (2000), os caminhões podem ser classificados de acordo com vários aspectos tais como:

- O tamanho e o tipo de combustível;
- O número de marchas e o tipo de tracionamento (2, 4, 6);
- O número de rodas e eixos, e disposição do tracionamento;
- O método de descarga e o tipo de material carregado; e a capacidade.

2.2.3.4. Capacidade dos Caminhões

Ainda segundo GREGORY (2000), a capacidade dos caminhões pode ser expressa por três formas tais como: capacidade mássica, capacidade volumétrica nominal que é a capacidade média considerando o limite das bordas da caçamba do caminhão e capacidade volumétrica coroada que é baseado em um empilhamento de inclinação 2:1 acima da borda da caçamba, onde esta depende do tipo de material e seu respectivo ângulo de repouso (Figura 16).



Figura 16: Capacidade dos caminhões. Nominal (esquerda); Coroada (direita). Fonte: Gregory (2000)

A capacidade produtiva vai depender da capacidade de carga e do número de ciclos que o caminhão vai executar dentro de um período de tempo (normalmente expresso por horas)

2.2.3.5. Tempo de ciclo dos caminhões

Segundo a CATERPILLAR (2012), o estudo dos tempos e movimentos característicos dos caminhões, é dividido em fixos e variáveis, sendo o primeiro composto por: tempo de carga, tempo de descarga e tempo de manobras. (soma de manobras para carregamento e manobras para descarga). Já os tempos de transporte, carregado e vazio, somados formam o tempo de ciclo variável.

Os manuais de produção dos fabricantes dos equipamentos de construção civil e mineração como o caso da Caterpillar, Volvo e Komatsu, fornecem uma estimativa de tempos de ciclo (t_{ciclo}) para os equipamentos que são apresentados na forma de tabela. Nas tabelas são esboçados, para cada equipamento, dependendo da categoria de peso operacional, os limites dos tempos de ciclo frequentemente observados.

No caso do manual da Komatsu (2006), são apresentados dois métodos distintos para a estimativa do tempo de ciclo (t_{ciclo}). O manual faz distinção, entre trabalhos de construção e de mineração, levando em conta, as condições operacionais de cada tipo de trabalho e o peso operacional dos caminhões, acima das 300 toneladas para trabalhos de mineração. Para casos de trabalhos de construção, este método admite que o tempo de ciclo é igual ao “tempo de ciclo padrão”, em segundos, vezes um “fator de conversão”. O primeiro depende do modelo de máquina e do ângulo de rotação, 45 a 90° ou 90 a 180°, e o segundo depende das condições de carregamento e descarregamento. Este fator pode variar entre 0,7 e 1,8 (ver anexo A2)

O tempo de ciclo de trabalho normalmente consiste em tempo de manobra e posicionamento (T_{MP}) que depende da configuração de operação e do espaço operacional; tempo de carregamento (T_{C}); tempo de transporte carregado (T_{TC}); tempo de manobra e basculamento (T_{MB}); e tempo de transporte vazio (T_{TV}). A duração do tempo de ciclo é igual à soma dos cinco tempos, segundo a equação 9.

$$T_{\text{ciclo}} = T_{\text{MP}} + T_{\text{C}} + T_{\text{TC}} + T_{\text{MB}} + T_{\text{TV}} . \quad (9)$$

Por sua vez, o tempo de carga, número de passes e tempo de transporte carregado pode ser calculado pelas equações 10, 11 e 12 respectivamente:

$$T_{\text{C}} = T_{\text{ciclo da escavadeira}} \times \text{Número de passes} \quad (10)$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ de passes} = \frac{V_{\text{caminhão}}}{V_{\text{concha}}} \quad (11)$$

$$T_{\text{TC}} = \frac{d}{v_c} \quad (12)$$

Onde:

- d é à distância de transporte;
- v_c é a velocidade do caminhão.

Quase todos os fabricantes dos equipamentos fornecem nos seus manuais os tempos de transporte carregado e de transporte vazio dos caminhões que podem ser lidos em curvas de

desempenho de acordo com as velocidades típicas dos equipamentos em diferentes condições de declividade de rampa e/ou resistência ao rolamento, como ilustra a imagem da Figura 17 e nos anexos A1 e A2.

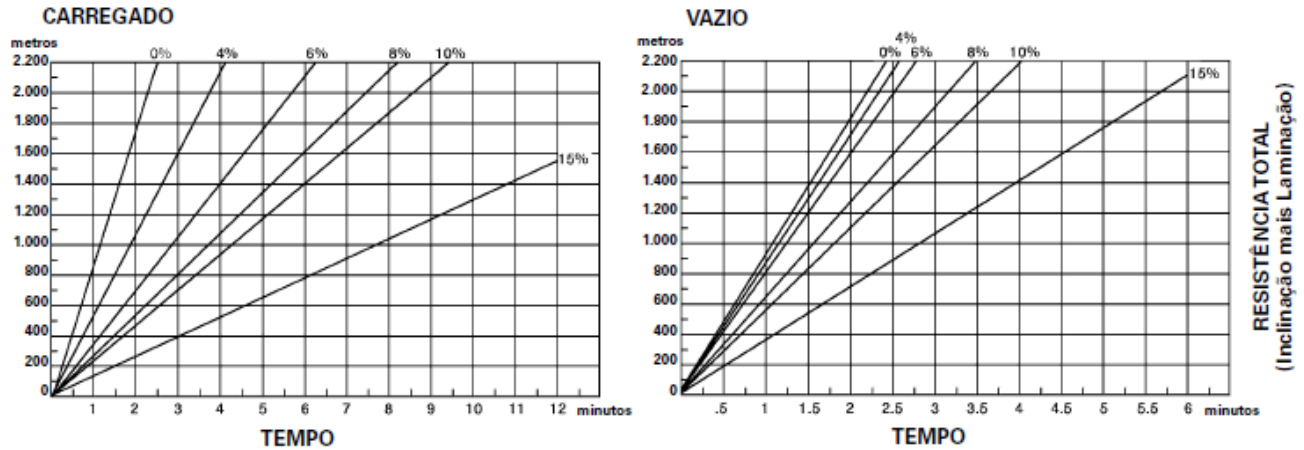


Figura 17: Gráfico dos tempos de transporte carregado e vazio para um determinado modelo de caminhão. Fonte: Caterpillar (2009)

A distância de transporte está diretamente ligada ao tempo de ciclo por viagem dos caminhões que por consequência determina a produtividade da frota. A Figura 18 relaciona a distância de transporte carregado para sistemas móveis usados na mineração à céu aberto. São muitos os sistemas que podem atender as necessidades de distância, condições do solo, inclinação, tipo de material e taxa de produção. Uma vez considerados todos os diversos fatores, geralmente há um único sistema de transporte que proporciona melhor desempenho e maior potencial para que se obtenha o menor custo por tonelada.

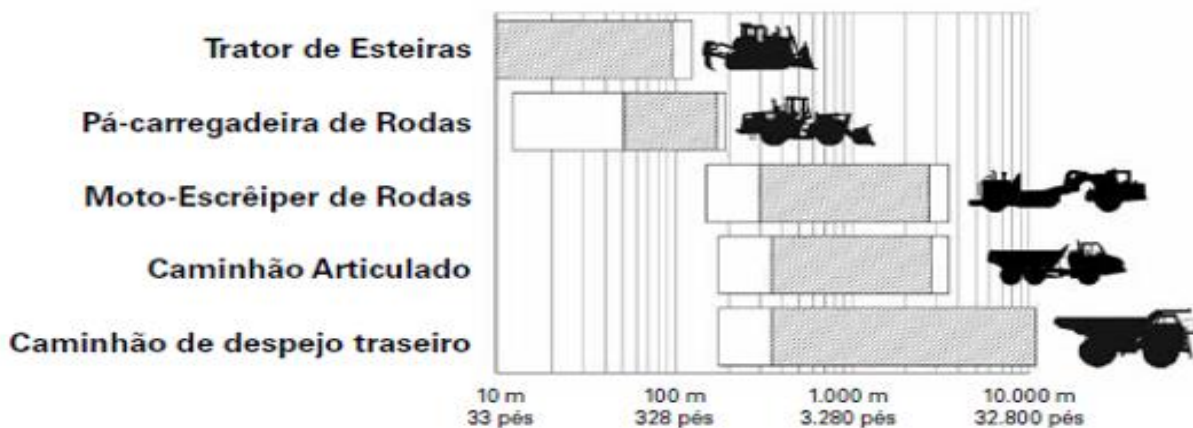


Figura 18: Distância geral de transporte carregado para sistemas móveis. Fonte: Caterpillar (2012)

2.2.3.6. Resistência ao Rolamento

Segundo JAWORSKI (1997) é uma medida da força necessária para superar o atrito interno dos rolamentos e, em unidades montadas sobre rodas pneumáticas, para superar o efeito de retardamento entre os pneus e o solo. Isto é dada pelo afundamento do pneu do caminhão no material de revestimento da estrada (Figura 19). Significa dizer que para cada centímetro de afundamento do pneu do caminhão é necessário mais 0,6% de seu peso em força para vencer a resistência ao movimento. A manutenção da superfície das estradas é muito importante para garantir a velocidade de transporte e reduzir os custos de desgaste com pneus. A resistência ao rolamento é calculada pela equação 14:

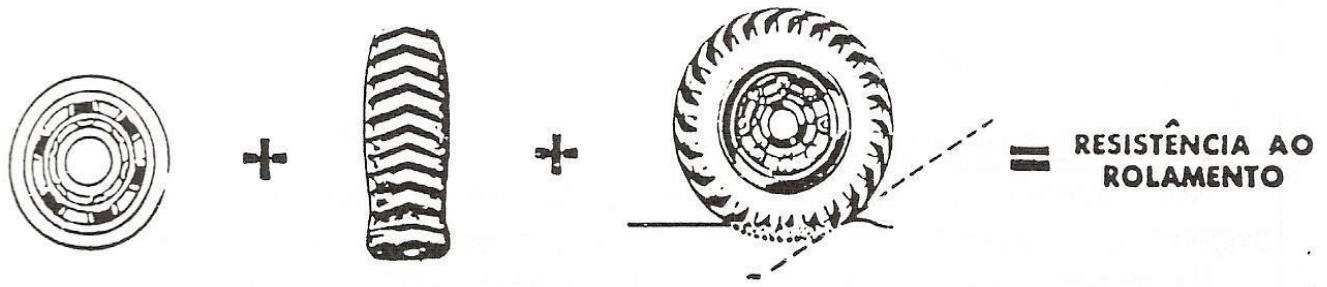


Figura 19: Resistência ao rolamento. Fonte: Jaworski (1997)

$$R_r = (20 + 6A) \times P = K \times P \quad (14)$$

- R_r é a resistência ao rolamento (kg);
- P é o peso total do equipamento (t);
- A é afundamento dos pneus no solo (cm).

O coeficiente de rolamento depende do terreno sobre o qual o equipamento se locomove. Alguns valores aproximados, em $K(\text{kgf/t})$, estão apresentados na **Error! Reference source not found.**

Tabela 3: Coeficiente de rolamento de alguns materiais. Fonte: Jaworski (1997)

Material	Valores de K
Asfalto ou concreto	20
Terra seca e firme	30
Terra seca e solta	80
Terra muito úmida e mole	120

A resistência ao rolamento pode ser expressa em termos de kgf ou porcentagem. Por exemplo, uma resistência de 2 kgf por 1t de massa do veículo é igual a 2% de resistência de rolamento.

2.2.3.7. Resistência de Rampa (RRa)

Segundo SILVA (2009), é uma medida da força, devido à gravidade, que é preciso superar para movimentar a máquina em rampas desfavoráveis (aclives). A resistência da rampa é uma medida da força, devido à gravidade, que ajuda na movimentação da máquina em rampas favoráveis (declives), Figura 20. Via de regra, as rampas são medidas em porcentagem de inclinação, que é a relação entre a ascensão ou queda vertical e a distância horizontal em que ocorre essa ascensão (+) ou queda (-). Por exemplo, uma inclinação de 10% equivale a uma ascensão ou queda de 10 m para cada 100 m de distância horizontal (10:1) ou $\text{tg}\theta = 10/100 \rightarrow \theta = 5,7^\circ$ em relação à horizontal. Uma ascensão de 4,60 m em 53,50 m corresponde a uma inclinação de 8,6%. Isto é: $(4,60 \text{ m} : 53,50 \text{ m}) \times 100\% = 8,6\% \rightarrow \theta = 4,9^\circ$.

O Fator de Resistência de Rampa (FRRa) é expresso em kgf/t e é dado pela equação 15:

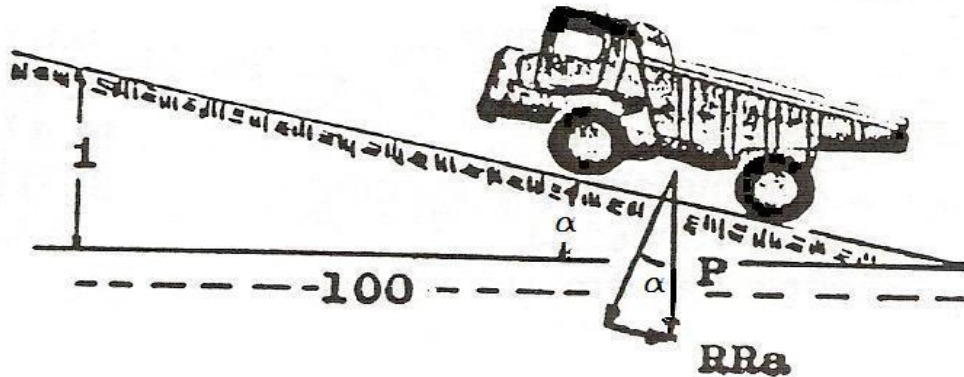


Figura 20: Resistência da rampa. Fonte:Jaworski (1997)

$$\text{FRRa} = P \times \text{sen}\alpha \quad (15)$$

Para valores pequenos do ângulo α , tem-se $\text{sen}\alpha = \text{tg}\alpha$, porém $\text{tg}\alpha = i/100$, onde i é o aclave em porcentagem. Substituindo-se na fórmula inicial $\text{sen}\alpha$ por $\text{tg}\alpha$, teremos:

$$\text{FRRa} = P \times \text{tg}\alpha \Rightarrow \text{FRRa} = P \times \frac{i}{100} \quad (16)$$

Para se obter a força **FRRa** em kgf usando o valor de **P** em toneladas, deve-se multiplicar o numerador da equação por 1 000,0 kg, resultando:

$$FRRa = P \times i \times \frac{1000}{100} \Rightarrow FRRa = 10 \times P \times i \quad (17)$$

Resistência total é o efeito combinado da resistência ao rolamento (nos veículos de roda) e da resistência de rampa.

2.2.3.8. Operação Conjugada

É a produção máxima possível dos equipamentos em operação conjugada que pode ser obtida pela análise da disponibilidade dos equipamentos. A distribuição binomial é aplicável ao cálculo de dimensionamento de frotas dos equipamentos:

$$P_n = P_{ed} \times P_{ned} \times C_r^n \quad (13)$$

- P_n é a probabilidade de ter exatamente n unidades disponíveis;
- P_{ed} é a probabilidade de uma unidade estar disponível;
- P_{ned} é a probabilidade de uma unidade não estar disponível; e
- C_r^n é a combinação de itens tomados, sendo r em um dado tempo.

Exemplo:

- Probabilidade de ter duas (2) unidades disponíveis;
 $P_2^2 = (0,8)(0,8) \times 1 \Rightarrow P_2^2 = 64\%$
- Probabilidade de ter uma (1) unidade disponível;
 $P_2^1 = (0,8)(0,2) \times 2 \Rightarrow P_2^1 = 32\%$
- Probabilidade de não ter nenhuma unidade disponível.
 $P_2^0 = (0,2)(0,2) \times 1 \Rightarrow P_2^0 = 4\%$

2.3. Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte

2.3.1. Seleção de Equipamentos de Carregamento e de Transporte

Segundo CALHAU (2013) apud BAŞÇETIN et al. (2006), o problema da seleção de equipamentos tem interface com as fases de projeto das instalações da mina e com a fase de produção, influenciando nos parâmetros econômicos operacionais e de longo prazo. Assim sendo, a seleção de equipamentos é baseada somente na experiência do tomador de decisões incorre em altos riscos econômicos, motivando o desenvolvimento de estudos e pesquisas na área.

Para o mesmo autor, mencionando AMARAL (2008), a seleção de equipamentos para mineração, não é um processo bem definido. Uma das razões para isso é que não há duas minas com características idênticas que proporcionem as mesmas condições para seleção dos equipamentos mais adequados. As características do minério, condições climáticas e a disposição dos depósitos são algumas das variáveis que podem diferir entre minas, mesmo essas contendo o mesmo tipo de minério.

Segundo BORGES (2013) apud SRAJER et al (1989), diz que uma pesquisa feita por estes revelou que na maioria dos casos é dada mais atenção à seleção de equipamentos de transporte do que à de equipamentos de carregamento. Os equipamentos de carregamento são tipicamente selecionados para corresponder às condições de minas em termos de capacidade necessária, às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra, ao mesmo tempo.

Nesta pesquisa feita por SRAJER et al (1989), os autores concluíram que, apesar das considerações acima, o conhecimento pessoal e experiência do engenheiro de minas ou do gerente com o equipamento de carga possui papel determinante sobre a escolha dos equipamentos.

Para a seleção de equipamentos de transporte, como caminhões, algumas empresas contam com o auxílio do fabricante para apresentá-los em uma proposta de aplicação baseada em requisitos de produção determinados. Em seguida as empresas selecionam o tipo e a capacidade do caminhão a partir das diferentes propostas com base nos seguintes critérios:

- Compatibilidade com equipamento de carga existente;
- Capacidade de atender às projeções de produção;
- Experiência anterior com o equipamento;
- Requisitos de serviço e manutenção;

- Custo de aquisição e custo operacional;
- Utilização e disponibilidade estimadas.

Na pesquisa feita por ERIC, (2006), diz que as principais considerações na seleção dos equipamentos são:

- Geologia do depósito;
- Metas de produção;
- Vida útil do projeto;
- Disponibilidade de capital;
- Custo de operação;
- Parâmetros geotécnicos;
- Retorno de investimentos;
- Interferências com o meio ambiente.

Porém, para uma escolha correta de equipamentos de carregamento e de transporte, esses fatores devem ser selecionados de forma integrada, a fim de aumentar a compatibilidade entre estes, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção.

2.3.2. Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte

SILVA (2009), diz que uma vez selecionados os tipos de equipamentos que atendam às condições específicas do trabalho, é importante que se selecione também os portes destes equipamentos, que irão operar conjugadamente, visando uma maior eficiência global, bem como para evitar que os cálculos do dimensionamento sejam feitos para alternativas que, de antemão, já se mostrem incompatíveis. Esta compatibilização deve, inicialmente, basearem-se em restrições físicas, tais como:

- A altura da bancada (H), condicionando o porte do equipamento de carregamento:
 - Pá carregadeira: $H = 5 \text{ a } 15 \text{ m}$;
 - Escavadeira hidráulica: $H = 4 + 0,45cc \text{ (m)}$;
 - Escavadeira a cabo: $H = 10 + 0,57(cc - 6) \text{ (m)}$
 - Sendo $cc = \text{capacidade da concha em m}^3$
- Do alcance da descarga do equipamento de carregamento, condicionando o porte do equipamento de transporte.

De acordo com o mesmo autor, observadas estas restrições, a compatibilização dos equipamentos em operação conjugada deve, então, atender a outros fatores que irão afetar diretamente a eficiência da operação, tais como:

- O número de passes do equipamento de carregamento para encher o equipamento de transporte. Considera-se que o número de 3 a 5 passes representa um bom equilíbrio. Um número menor seria preferível, quando:
 1. O tamanho da caçamba da unidade de transporte não seja muito pequeno em comparação com o tamanho da caçamba da unidade de carregamento, resultando em impactos sobre a suspensão e a estrutura do veículo e derramamento excessivo da carga;
 2. O tempo de carregamento não seja tão curto que ocasione a demora da chegada da unidade de transporte seguinte, ocasionando um tempo excessivo de espera por parte da unidade de carregamento;
 3. O número de unidades de transporte para cada unidade de carregamento seja equilibrado. Se este número for muito pequeno poderá ocorrer ociosidade da unidade de carregamento; e se o contrário é provável que ocorram filas dos equipamentos de transporte;
 4. O número excessivo de unidades da frota não ocasione dificuldades de tráfego e manutenção.

A Figura 21 representa um diagrama esquemático com algumas das principais considerações para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos.

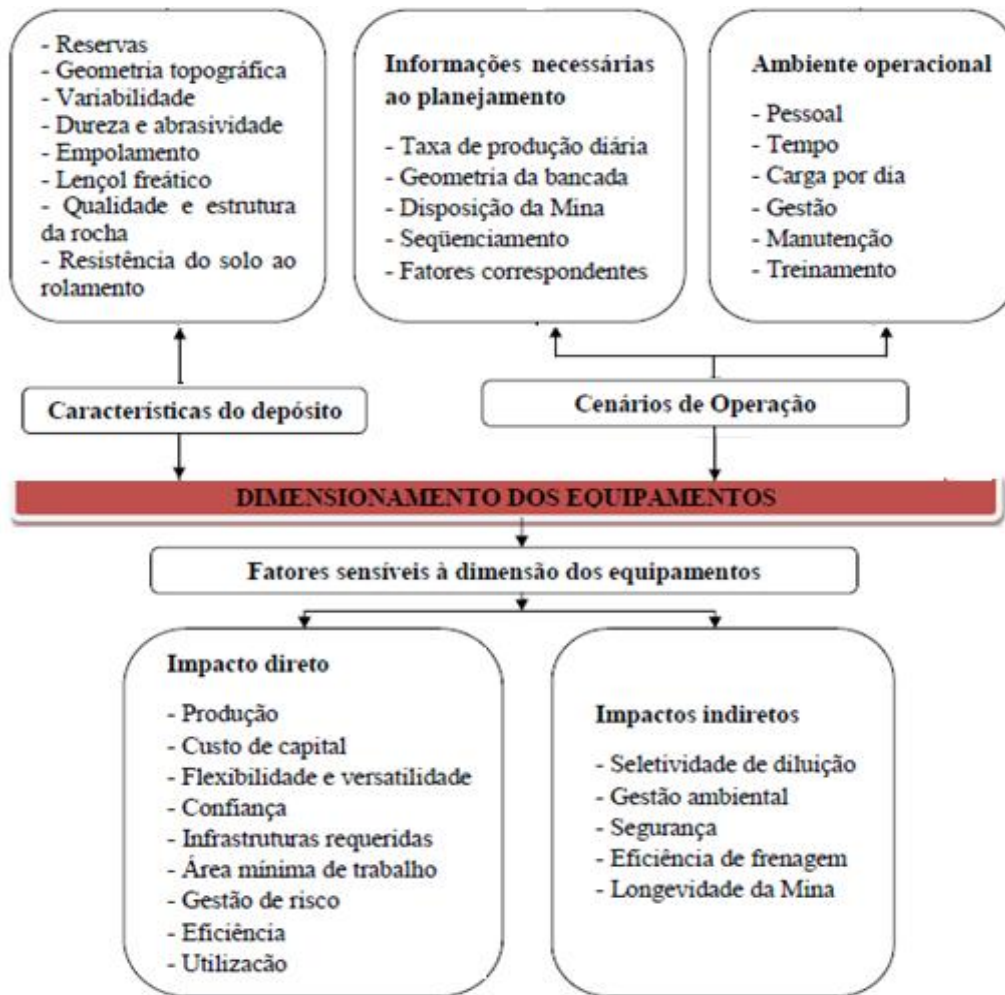


Figura 21: Considerações para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento. Fonte: Bozorgebraimi et al (2003)

2.3.3. Dimensionamento de equipamentos por indicadores de produção

Segundo CLARKE et al (1990), usando os indicadores de produção é possível estimar a produção de quaisquer equipamentos, dada sua taxa de utilização, disponibilidade, produtividade, eficiência de operação, número de equipamentos e horas totais programadas, onde o produto destes é igual à produção da frota em um determinado período de tempo, conforme a equação 17:

$$P = DF \times UT \times PR \times HTP \times N_{\text{equip}} \quad (17)$$

Onde,

- P = Produção da frota
- DF = Disponibilidade física dos equipamentos;

- UT = Fator de utilização dos equipamentos;
- PR = Produtividade efetiva dos equipamentos;
- HTP = Horas totais programadas;
- N_{equip} = Número de equipamentos na frota.

Nesse caso, para estimar o número de equipamentos, deve ser feita a operação inversa, onde se tem a produção anual e os indicadores mencionados, pelos quais é obtido o número exato de equipamentos necessários para produção planejada, através da equação 18:

$$N_{\text{equip}} = \left(\frac{P_a}{HT} \right) \times \frac{1}{P} \quad (18)$$

Onde:

- P_a = Produção anual

Em que,

$$HT = DF \times UT \times HTP \quad (19)$$

O dimensionamento de equipamentos por indicadores de produção gera resultados fidedignos à realidade da operação. Quanto maior a aderência dos indicadores de produção estimados aos indicadores praticados, maior será a aderência da estimativa de produção a produção realizada.

As estimativas dos indicadores de produção devem sempre ser fundamentadas em estudos de campos, manuais de fabricantes e principalmente estar aderentes às médias históricas praticadas em cada operação a fim de se evitar que estes sejam subestimados ou superestimados, causando divergências na capacidade produtiva dimensionada com a realizada.

2.4. Compatibilização dos Equipamentos

Uma escavadora normalmente trabalha em conjunto com outros equipamentos de movimentação de terras, desmontes ou transporte, como: bulldozers, pás-carregadeiras, perfuratrizes, caminhões, entre outros.

Segundo CATERPILLAR (2012), para escolher um modelo de escavadeira que gere produção ideal, é necessário compatibilizar-se o tipo de máquina e caçamba com os requisitos de

produção do cliente, o material a ser trabalhado e os meios de transporte (caminhão). Este processo é composto por:

- Determinação do tipo de material e o fator de enchimento da caçamba.
- Cálculo do tempo do ciclo da escavadeira.
- Cálculo dos ciclos efetivos por hora, que é a divisão das horas de 60 minutos pelo tempo de ciclo e ajuste do resultado segundo a disponibilidade e as eficiências, equação 16.

$$C_{ef/h} = \frac{60}{t_{ciclo}} \quad (16)$$

- Calculo da capacidade necessária da caçamba, equação 17

$$Q_u = \frac{P_{n/h}}{C_{ef/h}} \quad (17)$$

$$V_C = \frac{Q_u}{\rho} \quad (18)$$

$$T_C = \frac{V_C}{F_{ench}} \quad (19)$$

Onde:

- Q_u = Carga útil necessária;
 - $P_{n/h}$ = Produção necessária por hora;
 - C_{ef} = Ciclo efetivo da escavadeira;
 - V_C = Volume da carga útil necessária da concha;
 - ρ = Densidade do material solto;
 - T_C = Tamanho nominal da concha;
 - F_{ench} = fator de enchimento.
- Escolha da escavadeira compatível com o tamanho da caçamba calculada
 - Escolha dos caminhões, que é baseada no número de ciclos necessários para o enchimento do caminhão e do número de passes.

A Figura 22 ilustra uma forma adequada de escolha de número de passes ideal para uma escavadeira encher um caminhão.







NUMBER OF PASSES	 RH 90-C 15,1 yd ³ 10,0 m ³	 RH 120-E 19,8 yd ³ 15,0 m ³	 RH 170 23,5 yd ³ 18,0 m ³	 RH 200 34,0 yd ³ 26,0 m ³	 RH 340 44,5 yd ³ 34,0 m ³	 RH 400 57,0 yd ³ 43,5 m ³
 MT 3000 120 ton, 106 t	6	4	3-4			
 MT 3300 MT 3300AC 150 ton, 136 t	7-8	5	4-5	3		
 MT 3800E 170 ton, 154 t 190 ton, 172 t		6-7	5-6	3-4	3	
 MT 3700 MT 3700AC 130 ton, 122 t 205 ton, 186 t		7	6	4	3	
 MT 4400 MT 4400AC 240 ton, 217 t 290 ton, 236 t			6-7	4-5	3-4	3
 MT 5500E 390 ton, 326 t				7	5-6	4

Figura 22: Relação do intervalo de números de passes recomendados para encher um determinado caminhão compatível.
Fonte: Peroni (2015)

Segundo VOLVO (2009), para que haja sincronismo do conjunto escavadeira x caminhões, tanto as escavadeiras como as unidades de transporte devem ser do mesmo modelo e capacidade. Dessa forma é possível executar uma programação de trabalho e diminuir tempos de espera. As unidades apresentarão sempre o mesmo tempo de ciclo. Uma escala de entrada em serviço (horário de trabalho) deve ser aplicada quando forem necessários muitos caminhões e grandes distâncias de transporte. Dessa forma todas as unidades de transporte serão, adequadamente, utilizadas e farão igual número de ciclos na jornada diária.

2.5. Substituição de Equipamentos

Segundo SOUSA Jr (2012), toda atividade econômica, seja de transformação ou de serviços, envolve a utilização de ferramentas para a otimização de seus trabalhos. Para que elas sejam as mais adequadas possíveis para a tarefa, estudos de aquisição são necessários para se realizar o seu correto dimensionamento. Nesta mesma linha, estudos de substituição devem ser feitos para se saber o momento em que os equipamentos devem ser substituídos. Para a substituição dos equipamentos, devem-se atender os seguintes fatores:

- Desgaste: mudanças físicas ocorrem com o equipamento devido ao uso constante, gerando declínio da eficiência, redução da qualidade do produto/serviço prestado e aumento dos custos de operação/manutenção;
- Obsolescência: com o passar do tempo, podem aparecer equipamentos tecnicamente mais aperfeiçoados no mercado. Considerando os ganhos decorrentes dos avanços tecnológicos, a soma dos ganhos em desempenho e redução dos custos pode justificar a troca de um equipamento;
- Exigências do mercado: os clientes fazem novas exigências em torno de requisitos, requerendo dos fornecedores uma adaptação para suprir a nova demanda;
- Financiamento: oportunidades de aquisição de equipamentos facilitada momentaneamente devido a linhas de crédito, incentivos do governo, entre outros.

Segundo o mesmo autor, existem outros fatores que devem ser considerados no momento de aquisição de equipamentos, mas que não são computados diretamente tais como:

- Erros do passado: não devem ser considerados, pois não são possíveis de serem previstos e provavelmente não irão acontecer de novo;
- Custos Irreversíveis: são custos que não podem ser resgatados, mas que possuem significância para a empresa (por exemplo, a pintura de um equipamento);
- Perspectiva Externa: se refere à visão do mercado e mudanças no horizonte de planejamento;
- Impostos: se referem às taxas envolvidas com a aquisição e lucro proporcionado pelo equipamento.

Os fatores citados anteriormente servem para formar uma base de referência para a tomada de decisão em possíveis projetos de aquisição/substituição de equipamentos. É importante ressaltar que nem todos esses fatores podem estar disponíveis para o “ciclo de vida” do ativo e que quanto maior a disponibilidade e confiabilidade dos dados apresentados, maior será o nível de confiança associado à tomada de decisão.

É de referenciar que o tema de substituição dos equipamentos será desenvolvido num trabalho futuro a ser desenvolvido pelo autor do presente trabalho ou alguém que possa dar seguimento do tema desenvolvido nesse trabalho.

2.6. Estudos Sobre Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Mineração

A seleção e dimensionamento de equipamentos de mineração, por ser uma etapa que resulta em altos investimentos e conseqüentemente em grandes riscos econômicos, existem vários estudos que apresentam considerações e propõem técnicas e métodos que auxiliam na tomada de decisão acerca do assunto. A seguir são apresentados alguns estudos feitos anteriores sobre o tema na mineração a céu aberto.

BAŞÇETIN A, et al (2006), desenvolveram um sistema especialista baseado em conjuntos difusos para análise de alternativas da seleção e uso de equipamentos de mineração.

BOZORGEBRAHIMI et al (2003) no seu estudo sobre revisão de parâmetros críticos de dimensionamento de equipamentos para mineração à céu aberto, propõem o uso da simulação computacional como ferramenta de auxílio no planejamento de minas, seleção e dimensionamento de equipamentos, e sugerem também uma metodologia para analisar fatores que são influenciados pelas variações nos tamanhos dos equipamentos através do uso da simulação computacional.

Para CLARKE et al (1990), descrevem o uso de programas como ferramenta de apoio a tomada de decisão na seleção e dimensionamento de equipamentos de carga e transporte em mineração a céu-aberto, demonstrando o início do uso de computadores no auxílio das atividades de rotina na mineração.

LIZOTTE Y. (1988), destacou características específicas que são pertinentes ao processo de seleção e dimensionamento de equipamentos como dimensões de bancadas, teores do minério, entre outros no seu estudo sobre relação técnico-econômica entre projeto e seleção de equipamentos para mineração à céu aberto

RUNGE (1988), discute a influência da seleção de equipamentos na determinação da cava otimizada fazendo um comparativo entre os equipamentos de alta e baixa capacidade, relacionando-os com os custos unitários e seletividade de minério.

SOUSA JÚNIOR (2012) propôs no seu estudo sobre seleção de caminhões rodoviários para mineração a utilização da metodologia de auxílio multicritério à decisão no processo de seleção de equipamentos para mineração.

Dentre os estudos feitos anteriormente sobre seleção de equipamentos para mineração, vários fatores foram considerados nas análises, discussões e proposições pelos autores. Porém na literatura atual, a área de dimensionamento de equipamentos de carga e de transporte com modelos de auxílios na tomada de decisões ainda estão sendo abordados, como é o caso de TALPAC

TALPAC é um aplicativo de sistema de carregamento e transporte da Runge projetado para avaliar sistemas de carregamento e transporte para a indústria da mineração. Devido à sua confiabilidade e imparcialidade, TALPAC tornou-se um padrão na indústria da mineração mundial, utilizado na determinação da produtividade e custos de sistemas de carregamento (carregadeiras / escavadeiras) e transporte por caminhões.

Segundo a Runge Limited (2009), o software TALPAC pode ser utilizado para analisar o desempenho de frotas de equipamentos de carregamento e transporte já implementados em um determinado empreendimento civil ou mineral, ou verificar a aplicabilidade de novas frotas. Em ambos os casos, pode-se avaliar o desempenho de uma única frota ou pode-se comparar duas ou mais frotas diferentes. As aplicações típicas do TALPAC são:

- Cálculo do tempo de viagem dos caminhões para permitir uma análise comparativa de outras alternativas de rotas.
- Estimativa das produtividades da frota para utilização em estudos de planejamento de curto e longo prazo.
- Estimativa e comparação de produtividades utilizando várias metodologias de carregamento para determinar a técnica de carregamento mais adequada ou tamanho de caçamba das unidades de carregamento.
- Análise de sensibilidade do critério de definição das vias de transporte para avaliar a importância relativa da manutenção das mesmas.
- Estimativa de consumo de combustível.
- Determinação (utilizando métodos de fluxo de caixa descontado) de preços e custos de contratos de carregamento e transporte.
- Otimização do dimensionamento de frota para quantificar o efeito do excesso ou falta de caminhões.
- Análise incremental com simulações automáticas de diferentes rotas e utilização do resultado para geração de curvas de produtividade.

- Análise dos equipamentos de carregamento para otimização de tamanhos de caçamba das carregadeiras, capacidade e número de passes para os caminhões.
- Comparação de resultados a partir dos cálculos para examinar a relação entre variáveis no cálculo, por exemplo, de distância do transporte versus produtividade, distância versus tamanho da frota.

2.7. Tomada de Decisão

Segundo BORGES (2013) apud GOMES *et al.* (2009), um processo de decisão envolve a escolha entre, no mínimo, duas alternativas para a solução de um problema que terá consequências para o futuro, podendo ser: imediato, de curto prazo, longo prazo ou a combinação entre as anteriores.

Para a tomada de decisão, a análise de cenários se faz necessária para avaliação de alternativas possíveis de serem implementadas de acordo com diferentes estratégias envolvidas na decorrência de sua aplicação. Como a elaboração de estratégias é, em sua essência, um processo que envolve consequências em várias áreas, elas devem ser avaliadas em diferentes e complexas áreas, tais como: tecnologias, humanas, sociais, econômicas, jurídicas, políticas e institucionais, que muitas vezes tratam de fatores tanto qualitativos (que dependem do julgamento do tomador de decisão) quanto quantitativos (que podem ser expressos em unidades de medida monetária, peso, volume, entre outros).

Para CLARKE *et al.* (1990), após as etapas de dimensionamento de todos os equipamentos necessários para movimentação da produção planejada a cada ano, estimativa dos custos operacionais e estratificação destes para melhor análise e comparativo dos cenários. Cabe ao tomador de decisão a escolha do cenário mais viável economicamente, considerando e ponderando os riscos de cada alternativa, como mudanças no cenário externo, possíveis perdas de produção no período de transição entre um processo e outro, erros de planejamento que possam acarretar aumento dos custos de produção, entre outros. É de extrema importância identificar, mensurar e analisar todos os riscos envolvidos na mudança de qualquer processo produtivo, para que se possam tomar as devidas ações mitigadoras.

CAPÍTULO 3.

METODOLOGIA

Neste capítulo, descreve-se como foi organizado o desenvolvimento deste trabalho, enfatizando-se sua natureza e as etapas seguidas para obtenção dos resultados do estudo.

3.1. Natureza e Classificação da Pesquisa

A metodologia utilizada para este trabalho segue a proposição de VERGARA (1997), que divide uma pesquisa em dois aspectos: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, ele diz que uma pesquisa pode ser exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista; e quanto aos meios, ela pode ser bibliográfica, documental, experimental, participativa, pesquisa de campo e estudo de caso.

Para este trabalho, quanto aos fins, à pesquisa é aplicada, pois envolve estudos e práticas que contribuem para a identificação da situação real levantada pelo estudo, com objetivo de atingir aplicações verdadeiras. Quanto aos meios, ela é bibliográfica e utiliza a técnica de produção de uma referência ou modelo.

Segundo o mesmo autor (VERGARA, 1997), a pesquisa bibliográfica ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo.

Neste trabalho, a pesquisa bibliográfica baseia-se nos conhecimentos adquiridos através de publicações, tais como artigos, dissertações, livros, revistas científicas entre outras obras.

3.2. Coleta e Sequenciamento da Pesquisa

Segundo VERGARA (1997), uma das etapas mais importantes de uma pesquisa são as coletas de dados e informações. Uma coleta de dados ineficiente pode gerar resultados discrepantes da realidade e gerar equívocos na tomada de decisão.

Neste trabalho, foram executadas as seguintes atividades para fundamentar, analisar e propor uma metodologia aplicada e eficiente no apoio à tomada de decisão no dimensionamento de equipamentos de carregamento e de transporte em mineração:

- Revisão de literatura referente ao planejamento e seleção de equipamentos de lavra para mineração e metodologias para tomada de decisão. Esta etapa foi realizada por meio de pesquisa em publicações científicas impressas e digitais, presentes nos meios oficiais de publicação, tais como as bibliotecas e bancos de dados de editoras científicas;
- Elaboração de um modelo para dimensionamento de equipamentos de carregamento e de transporte para mineração a céu aberto;
- Aplicação ou enquadramento do modelo elaborado como auxílio à tomada de decisão no dimensionamento de equipamentos de carregamento e de transporte para operação em minas a céu aberto, usando um estudo de caso de uma empresa de mineração;
- Conclusão dos resultados obtidos.

As atividades descritas acima foram desenvolvidas no período de Setembro de 2015 a Dezembro de 2016.

3.3. MODELO EXCESimulator

3.3.1. Panorama Geral do EXCESimulator

Um dos objetivos deste trabalho consiste em concentrar os dados do planejamento em uma implementação computacional, concebido para o cálculo e dimensionamento da capacidade das caçambas das escavadeiras e o número de equipamentos requeridos para um determinado projeto (**Error! Reference source not found.**). A proposta dessa implementação é que seja desenvolvido um processo rápido e eficiente que facilite o dimensionamento de equipamento de carga e transporte, e auxilie na seleção e compatibilização das escavadeiras com os caminhões, vai de encontro à realidade presente na área de mineração.

Para o desenvolvimento da rotina EXCESimulator, foi utilizada a plataforma do *Microsoft Excel* complementada com linguagem de programação *Visual Basic for Applications (VBA)* para a criação das interfaces com o usuário e para cálculo dos resultados do dimensionamento. A ferramenta desenvolvida opera em ambiente *Windows* (64 bits). Esse modelo reúne informações relativas às condições operacionais e aos dados dos equipamentos. Assim é possível calcular e fornecer ao usuário resultados sobre as capacidades das caçambas das escavadeiras, o número de escavadeiras e de caminhões, e o tempo de espera dos caminhões para serem atendidas pelas escavadeiras em uma determinada escala de produção.

Segundo SENAC/RS, a VBA (*Visual Basic for Applications*) é uma ferramenta, usada para automatizar alguns procedimentos para facilitar o trabalho e sistematizar cálculos e operações para que possam ser executadas de forma padronizada em diversas situações. As instruções que formam o corpo da rotina são escritas num código próprio e nesse caso rodando sobre a plataforma do Microsoft Excel, para que o computador as possa interpretar e executar a sequencia de comandos ali descrita.

Para SILVA (2009), a VBA é uma linguagem que permite acrescentar capacidades adicionais a certos tipo de aplicações informáticas, concretamente as pertencentes ao *Microsoft Office*, entre as quais o *Excel* e o *Word*. Permite ainda automatizar a realização de muitas tarefas rotineiras nessas aplicações.

A Figura 23 sumariza como foi estruturada a rotina EXCESimulator desde a entrada de dados até a produção dos resultados finais.

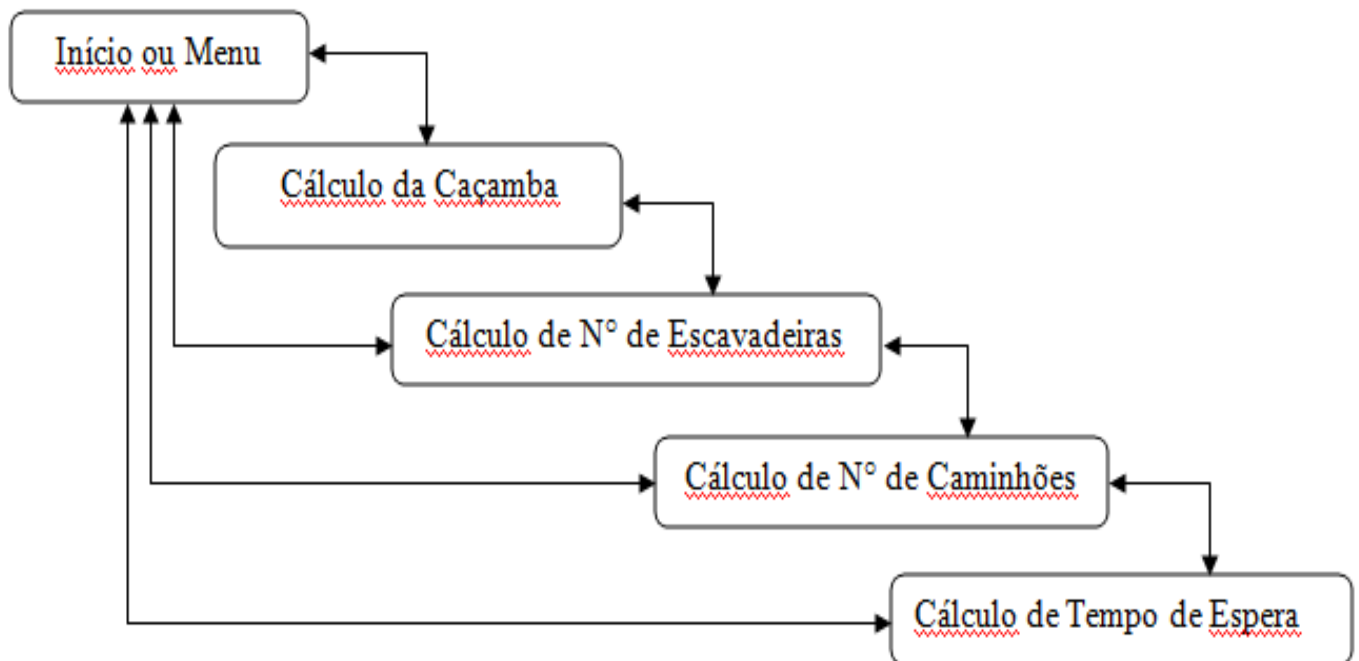


Figura 23: Fluxograma do EXCESimulator

3.3.2. A interface

Como se pode observar na **Error! Reference source not found.**, o EXCESimulator está dividido em cinco etapas (ou janelas de interação) relacionadas com interfaces que podem ser executadas sequencialmente ou individualmente, o que permite uma fácil utilização por parte do usuário.

A primeira janela (ou interface de abertura) dá acesso às quatro janelas de cálculo do programa onde o usuário irá escolher a atividade a executar. Todas as janelas permitem acesso à primeira e vice-versa. Nessas quatro janelas que são acessadas através da interface abertura, tem na sua esquerda os parâmetros ou indicadores de produção; À direita são apresentados os campos de entrada para a informação dos valores referentes a cada parâmetro da esquerda; e na parte inferior de cada passo, estão os comandos “Calcular”, “Limpar”, “Voltar” e “Abrir outra janela”, se quiser continuar com os cálculos.

A seguir se descrevem os cinco passos das atividades das janelas:

1º Passo (Entrada na Janela Início ou Menu)

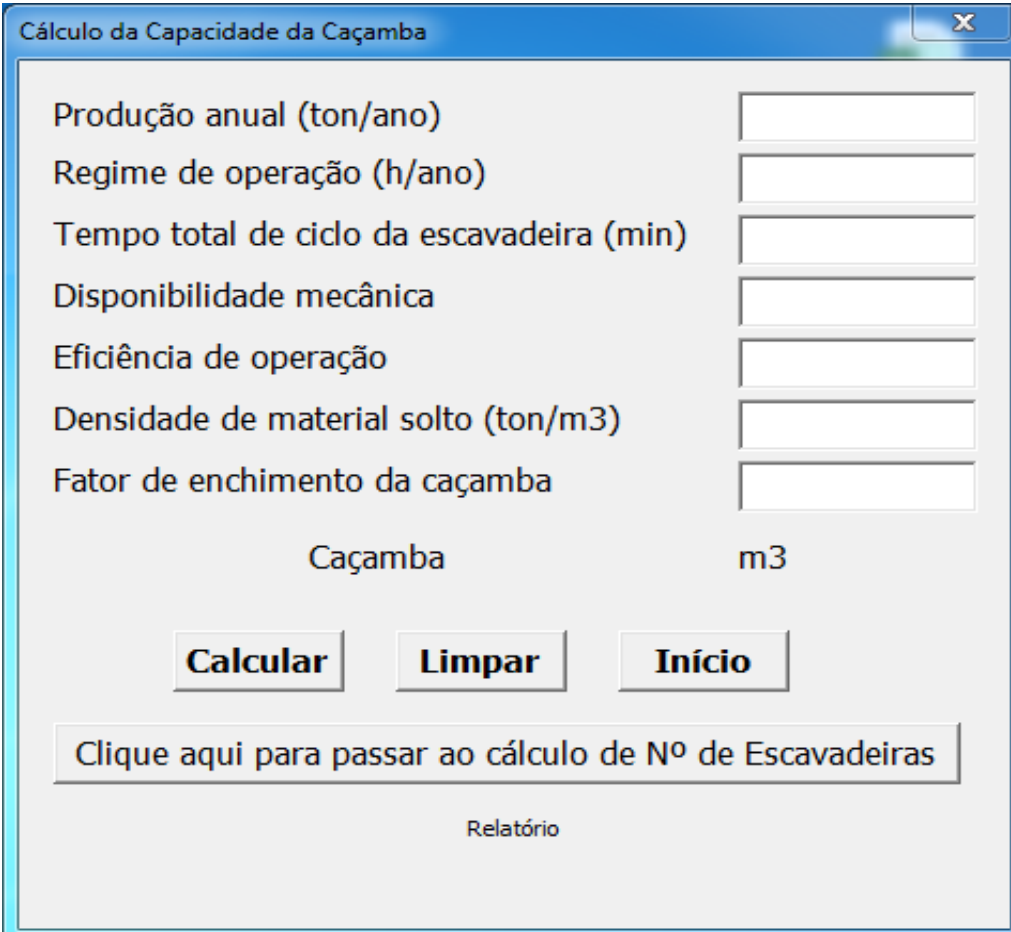
Ao abrir o programa, entrará na janela de menu (Figura 24) onde estão as quatro janelas para as atividades dos cálculos da caçamba, do número de escavadeiras, do número de caminhões, do tempo de espera e o comando para sair do programa. Tendo entrado no programa, o usuário irá escolher qual das atividades a executar.



Figura 24: Janela de Início ou Menu

2º Passo (Cálculo da Capacidade da Caçamba da Escavadeira):

Como todos os outros passos, aqui estão apresentados os parâmetros para o cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira, onde o usuário irá digitar os valores de cada parâmetro segundo as características do equipamento e dos valores do planejamento da lavra. Tendo inserido os respectivos valores, são habilitados na parte inferior da janela os comandos calcular, limpar, início, passar ao cálculo de número de escavadeiras e seguir se assim desejar continuar com os cálculos desta etapa e, mais a baixo o relatório da atividade desta janela (Figura 25).



Cálculo da Capacidade da Caçamba

Produção anual (ton/ano)

Regime de operação (h/ano)

Tempo total de ciclo da escavadeira (min)

Disponibilidade mecânica

Eficiência de operação

Densidade de material solto (ton/m³)

Fator de enchimento da caçamba

Caçamba m³

Calcular **Limpar** **Início**

Clique aqui para passar ao cálculo de Nº de Escavadeiras

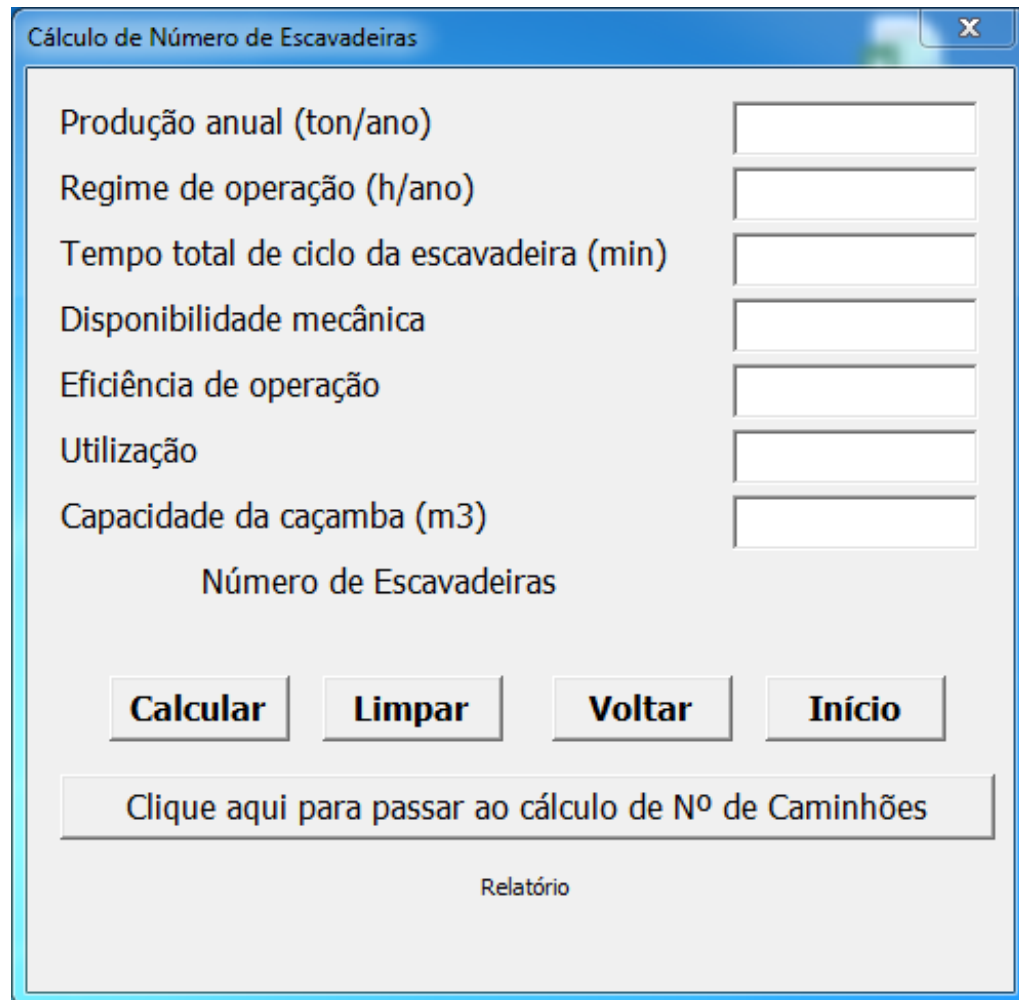
Relatório

Figura 25: Janela para o cálculo do volume da capacidade da escavadeira

Tendo calculado a capacidade da caçamba, seleciona-se um equipamento dentro das opções disponíveis nos manuais de equipamentos fornecidos pelos fabricantes e em seguida, escolhem-se os veículos de transporte que é baseado no número de passes necessários para o enchimento do caminhão.

3º Passo (Cálculo do Número de Escavadeiras):

Como no passo anterior, esta janela contém os parâmetros da escavadeira e da capacidade da caçamba da escavadeira selecionada com base nos manuais de equipamentos fornecidos pelos fabricantes. Tendo inserido os respectivos valores, na parte inferior da janela ficaram disponíveis cinco comandos (calcular, limpar, voltar, início e passar ao cálculo de número de caminhões) para utilizar (Figura 26).



Cálculo de Número de Escavadeiras

Produção anual (ton/ano)

Regime de operação (h/ano)

Tempo total de ciclo da escavadeira (min)

Disponibilidade mecânica

Eficiência de operação

Utilização

Capacidade da caçamba (m3)

Número de Escavadeiras

Calcular **Limpar** **Voltar** **Início**

Clique aqui para passar ao cálculo de Nº de Caminhões

Relatório

Figura 26: Janela para o cálculo de número de escavadeiras

Tendo calculado o número de escavadeiras necessárias e sabendo que deve adotar um número inteiro, há que se levar em consideração a escolha de um inteiro inferior ou superior ao valor obtido no cálculo.

4º Passo (Cálculo do Número de Caminhões):

Como no passo dois e três, esta janela contém os parâmetros do caminhão, da escavadeira e a capacidade da concha da escavadeira selecionada com base nos manuais de equipamentos fornecidos pelos fabricantes. Tendo sido informados os respectivos valores, na parte inferior da janela habilita-se os comandos calcular, limpar, voltar, início e passar ao cálculo de tempo de espera e, mas abaixo o relatório da atividade desta janela (Figura 27).

Cálculo de Número de Caminhões

Produção anual (t)

Regime de operação (h/ano)

Disponibilidade do caminhão

Utilização

Eficiência de operação

Tempo total de ciclo do caminhão (min)

Número de passes para encher o caminhão

Capacidade da caçamba (m3)

Número de Caminhões

Calcular **Limpar** **Voltar** **Início**

Clique aqui para passar ao cálculo de Tempo de Espera

Relatório

Figura 27: Janela de cálculo de número de caminhões

Sabendo que o número de caminhões a adotar depois de calculados será um número inteiro, há que ter em consideração a escolha de um inteiro inferior ou superior ao valor obtido. No caso de se adotar um inteiro inferior a escavadeira torna-se o “gargalo” da operação e conseqüentemente o ciclo de produção ficará limitado pelo equipamento de escavação. No caso de se adotar o inteiro superior a limitação transfere-se para os caminhões. O que é preferível, pois é mais fácil depender da adição de um caminhão do que de uma nova escavadeira, ou mesmo da ampliação da concha, que pode

provocar alteração da adequação (MATCH) caminhão /escavadeira ou problemas com a limitação de carga de lançamento por parte do sistema de elevação da escavadeira.

5º Passo (Cálculo de tempo de espera):

Como no quarto passo, esta janela contém os parâmetros do caminhão e da escavadeira. Na parte inferior desta janela também podemos encontrar quatro comandos (calcular, limpar, voltar e início) para utilizar (**Error! Reference source not found.**).

Cálculo de Tempo de Espera

Número de Caminhões calculado

Número inteiro menor de Caminhões calculado

Capacidade do Caminhão (m3)

Capacidade da Caçamba (m3)

Tempo total de ciclo da Escavadeira (min)

Tempo de Espera min

Calcular **Limpar** **Voltar** **Início**

Relatório

Figura 28: Janela de cálculo de tempo de espera de o caminhão carregar

A escolha do número inteiro maior ou menor do número cálculo de tempo de espera é fundamental porque permitirá uma boa compatibilização dos equipamentos. E o outro fator é de se saber qual dos equipamentos (escavadeira ou caminhão) comanda a operação.

Nos anexos A.3 e A.4, estão listados algumas escavadeiras e caminhões de acordo com o nome do fabricante, área de uso (lavra à céu aberto) e especificações do equipamento (capacidades em toneladas e m³).

3.3.3. Demonstração das formulas usadas para os cálculos feitos nos User Forms do EXCESimulator

Por forma a demonstrar como foram feitos os calculos nos User Forms do EXCESimulator, a seguir são apresentados as variáveis correspondente as caixas de textos usados:

Para o cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira foram usados as seguintes variáveis e a equação 20:

- produção anual = n01;
- regime de operação = n02;
- tempo de ciclo da escavadeira = n03;
- disponibilidade mecânica = n04;
- eficiência de operação = n05;
- densidade de material solto = n06;
- fator de enchimento da caçamba = n07;
- C_c = Capacidade da caçamba

$$C_c = \left(\left(\left(\left(\frac{n01}{n02} \right) \div \left(\left(\frac{60}{n03} \right) \times n05 \times n04 \times \left(\frac{50}{60} \right) \right) \right) \div n06 \right) \div n07 \right) \quad (20)$$

Para o caso de número de escavadeiras, as seguintes variáveis foram usados para o cálculo e a equação 21 foi aplicada:

- produção anual = n08;
- regime de operação n09;
- tempo de ciclo da escavadeira n10;
- disponibilidade mecânica = n11;
- eficiência de operação = n12;
- utilização n13;
- capacidade da caçamba da escavadeira = n14;
- N_{esc} = N° de escavadeiras)

$$N_{esc} = \left(\frac{n08}{(n09 \times n11 \times n13 \times n12)} \right) \times \left(1 \div \left(\left(\frac{60}{n10} \right) \times n14 \right) \right) \quad (21)$$

No caso de número de caminhões, foram usados as seguintes variáveis e equação 22:

- produção anual = n15;
- regime de operação n16;
- disponibilidade do caminhão = n17;
- Utilização = n18;
- eficiência de operação = n19;
- tempo de ciclo do caminhão = n20;
- número de passes para encher o caminhão = n21;
- capacidade da caçamba da escavadeira = n22;
- $N_c = N^\circ$ de caminhões)

$$N_c = \left(\frac{n15}{(n16 \times n17 \times n18 \times n19)} \right) \times \left(\frac{1}{\left(\left(\frac{60}{n20} \right) \times (n21 \times n22) \right)} \right) \quad (22)$$

E finalmente, para o cálculo de tempo de espera dos caminhões serem carregados pelas escavadeiras, foram usados as seguintes variáveis e a equação 23 foi aplicada:

- número de caminhões calculados = n23;
- número inteiro menor de caminhões calculados = n24;
- capacidade do caminhão = n25;
- capacidade da caçamba da escavadeira = n26;
- tempo de ciclo da escavadeira = n27;
- tempo de espera = T_{esp}

$$T_{esp} = (n23 - n24) \times \left(\left(\frac{n25}{n26} \right) \times n27 \right) \quad (23)$$

3.3.4. Exemplo

Como procedimento de validação dos cálculos realizados pelo EXCESimulator foi efetuada uma comparação com base nos valores retirados no manual da Caterpillar para o cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira e do manual da Komatsu para cálculo do número de caminhões e tempo de espera. Os resultados estão apresentados nas tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4: Valor da capacidade da caçamba segundo o cálculo da Caterpillar

Dados utilizados para cálculo da capacidade da caçamba da escavadeira	
Produção anual	5.369.880 t/ano
Regime de operação	365 dias/ano 24h/dia
Fator de enchimento	85% (0,85)
Densidade do material solto	2,5 t/m ³
Tempo total de ciclo da escavadeira	0,80 min
Eficiência de operação	90% (0,9)
Disponibilidade mecânica	95% (0,95)
Capacidade da caçamba calculada	5,4 m³

The screenshot shows a software window titled "Cálculo da Capacidade da Caçamba". It contains several input fields with the following values: "Produção anual (ton/ano)" is 5369880, "Regime de operação (h/ano)" is 8760, "Tempo total de ciclo da escavadeira (min)" is 0.80, "Disponibilidade mecânica" is 0.95, "Eficiência de operação" is 0.90, "Densidade de material solto (ton/m3)" is 2.5, and "Fator de enchimento da caçamba" is 0.85. Below these fields, it states "A capacidade da caçamba é de: 5.4 m3". At the bottom, there are three buttons: "Calcular", "Limpar", and "Início". A link is provided: "Clique aqui para passar ao cálculo de Nº de Escavadeiras". A footer contains the following text: "Produção anual: 5369880 Regime de operação: 8760 Tempo de ciclo da escavadeira: 0.80 Disponibilidade mecânica: 0.95 Eficiência de operação: 0.90 Densidade de material solto: 2.5 Fator de enchimento: 0.85 A capacidade da caçamba é de: 5.4".

Figura 29: Valor da capacidade da caçamba segundo o cálculo do EXCESimulator

A Figura 29 demonstra que o resultado obtido usando a interface de cálculo coincide com o resultado apresentado no manual do fabricante, validando que os cálculos implementados estão consistentes.

A mesma proposta de cálculos e validações foram usados para as demais etapas implementadas nas demais janelas de cálculo da interface.

Tabela 5: Valor de número de escavadeiras segundo o cálculo da Caterpillar

Dados utilizados para cálculo de número de escavadeira	
Produção anual	5.369.880 t/h
Regime de operação	365 dias/ano 24h/dia
Disponibilidade mecânica	95% (0,95)
Utilização	80% (0,8)
Eficiência de operação	90% (0,9)
Tempo total de ciclo da escavadeira	0,8 min
Capacidade da caçamba	5,4 m ³
Número de escavadeiras calculado	2,21 → 3

Figura 30: Valor de número de escavadeira segundo o cálculo do EXCESimulator

Para não tornar a escavadeira “gargalo” da operação, adotou-se um número superior do calculado.

Tabela 6: Valor de número de caminhões segundo o cálculo da komatsu

Dados utilizados para cálculo de número de caminhões	
Produção anual (t)	5.369.880
Regime de operação (h/ano)	8760
Disponibilidade mecânica	0,85
Utilização	0,75
Eficiência de operação	0,9
Tempo total de ciclo do caminhão (min)	12,32
Capacidade da caçamba (m ³)	5,4
Número de passes	5
Número de caminhões calculados	8,1

Figura 31: Valor do número de caminhões segundo o cálculo do EXCESimulator

Tabela 7: Valor de tempo de espera segundo o cálculo da Komatsu

Dados utilizados para cálculo de Tempo de Espera	
Número de caminhões calculados	8,13
Número inteiro menor de caminhões	8
Capacidade do caminhão	22,4 m ³
Capacidade da caçamba da escavadeira	5,4 m ³
Tempo de ciclo da escavadeira	0,80 min
Tempo de espera (min)	0,43

The screenshot shows a software window titled "Cálculo de Tempo de Espera" with the following fields and values:

- Número de Caminhões calculado: 8.13
- Número inteiro menor de Caminhões calculado: 8
- Capacidade do Caminhão (m3): 22.4
- Capacidade da Caçamba (m3): 5.4
- Tempo total de ciclo da Escavadeira (min): 0.80

Below the input fields, the result is displayed: "O Tempo de Espera é de: 0.43 min". At the bottom, there are four buttons: "Calcular", "Limpar", "Voltar", and "Início". A status bar at the very bottom repeats the input values and the result: "Número de caminhões calculados: 8.13 Número inteiro menor de caminhões calculados: 8 Capacidade do caminhão: 22.4 Capacidade da caçamba: 5.4 Tempo total de ciclo da escavadeira: 0.80 O Tempo de Espera é de: 0.43".

Figura 32: Valor do tempo de espera segundo o cálculo do EXCESimulator

Tendo em conta os resultados obtidos através do EXCESimulator estarem em conformidade com os valores obtidos pelos cálculos de alguns dos fornecedores dos equipamentos, é possível tirar a conclusão de que o modelo satisfaz aos objetivos do trabalho.

3.3.5. Comparação do Software Tolpac com o Modelo EXCESimulator

Fazendo uma comparação do software da Talpac que é um padrão na indústria de mineração mundial utilizado na determinação da produtividade e custos de sistemas de carregamento e transporte por caminhões com o modelo EXCESimulator desenvolvido neste trabalho, pode-se dizer que o software da Talpac é mais amplo e abrangente porque pode estimar o consumo de combustível; determinar os preços de custos de contratos de carregamento e transporte; analisar a sensibilidade do critério de definição das vias de transporte para avaliar a importância relativa da manutenção das mesmas; calcular os tempos de viagens dos caminhões para permitir uma análise comparativa de outras alternativas de rotas; analisar o incremento com simulações automáticas de diferentes rotas e utilizar os resultados para geração de curvas de produtividade; e comparar resultados a partir dos cálculos para examinar a relação entre variáveis no cálculo de distâncias de transporte versus produtividade, e distância versus tamanho da frota por exemplo.

O EXCESimulator tem em comum com o software da talpac, a estimativa ou o cálculo das capacidades das caçambas das escavadeiras, o cálculo do número das escavadeiras e dos caminhões para um determinado projeto, e por fim o cálculo dos tempos de espera dos caminhões em serem carregados pelas escavadeiras.

CAPÍTULO 4.

DIMENSIONAMENTO DE FROTA: UM ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado o dimensionamento de equipamentos de carregamento e de transporte utilizando como estudo de caso uma empresa de mineração hipotética, no entanto baseada em dados realistas.

4.1. Descrição do projeto

Com o objetivo de fazer uma aplicação prática do dimensionamento de equipamentos de carregamento e de transporte com vistas à melhor demonstração da aplicabilidade do modelo desenvolvido, consideremos o caso da empresa que têm atividades de lavra a céu aberto. A empresa em questão pretende movimentar anualmente em média aproximadamente 16.600.000 toneladas de minério e estéril, conforme o plano de lavra apresentado na tabela 8.

Tabela 8: Produção planejada para 20 anos

Ano	DMT (m)	Produção (t/ano)	REM
1	3000	17,000,000	2.64
2	3300	15,995,165	2.6
3	3600	16,351,512	2.62
4	3900	17,018,004	2.9
5	4200	15,974,988	2.8
6	4500	16,974,957	2.75
7	4800	15,638,794	2.62
8	5100	16,926,489	2.85
9	5400	17,102,446	2.68
10	5700	17,098,503	2.73
11	6000	16,131,324	2.74
12	6300	16,933,389	2.70
13	6600	16,919,402	3.00
14	6900	16,878,646	2.75
15	7200	16,113,280	3.10
16	7500	15,929,415	2.72
17	7800	16,950,442	2.67
18	8100	16,966,450	2.75
19	8400	16,881,061	3.10
20	8700	15,960,683	3.30
Total	5851.16	16,587,248	2.8

As Distâncias Médias de Transporte (DMTs), foram calculadas a partir do plano de lavra previsto para a mina, com 3 km no ano 1 e incremento de 300 m a cada ano até o 20º ano.

As horas programadas estão relacionadas ao regime de trabalho da mineração sendo de três turnos de 8 horas, totalizando 24 horas por dia em 365 dias por ano.

A mineração em estudo é feita com transporte por caminhões e consiste basicamente de desmonte do material “*in situ*” que é realizado por meio de perfuração e desmonte por explosivo ou mecanicamente com a própria escavadeira, dependendo da resistência do material. O transporte do material por caminhões é feito até o britador primário ou pilha de estéril, descarregando e retornando até a frente de lavra ou desenvolvimento.

Para o cenário de referência, as operações citadas são executadas com uso dos seguintes equipamentos: caminhões fora de estrada CAT 775D com capacidade máxima de 41,9 m³, escavadeiras hidráulicas Hitachi EX1200 com capacidade máxima de concha de 6,5 m³, pá carregadeira, perfuratrizes pneumáticas, trator, motoniveladora e caminhão pipa. Sendo a frota de carregamento e transporte e quantidade de perfuratrizes dimensionada pela própria empresa para atender as demandas do mercado.

O caso de estudo avalia um comparativo entre a utilização de equipamentos de pequeno porte e a migração para equipamentos de grande porte do ponto de vista puramente operacional com a utilização do sistema de dimensionamento de equipamentos desenvolvido nessa dissertação. A empresa em questão pretende mudar os atuais equipamentos de transporte. Todavia, para o estudo de viabilidade econômico-financeira, assumir ou não essa mudança, e como ferramenta de tomada de decisão, foi proposto o presente estudo de dimensionamento de equipamentos que concluídos permite ao gestor fundamentação e consistência à tomada de decisão.

4.2. Plano de mineração

O plano de lavra da empresa em questão é elaborado no setor de planejamento, onde uma equipe dedicada faz os planos de curto e longo prazo, onde curto prazo é o planejamento mensal, médio prazo o planejamento anual até 3 anos e longo prazo acima de três anos, até a exaustão. No planejamento mensal apresenta-se o detalhamento do material a ser movimentado em cada frente de atividade e a alocação dos respectivos equipamentos. Já no planejamento de médio e longo prazo, é considerado o material a ser movimentado em cada período anual e o dimensionamento de frota deve ser compatibilizado para atender as demandas planejadas. Considera-se que o sistema desenvolvido

atende as demandas de planejamento de médio e longo prazo, onde ainda são feitas considerações conceituais sobre o tipo de equipamento a ser utilizado bem como ainda não existem aspectos de caráter mais operacional envolvidos nesse nível de dimensionamento, tipicamente relacionados com horizontes de curto prazo.

4.3. Sistema de carregamento e transporte utilizado

Como premissa, assumiu-se o sistema de carregamento e de transporte exclusivamente composto por escavadeiras hidráulicas, que atuam no carregamento, e caminhões que atuam no transporte. A composição da operação conjugada de carga e transporte é exclusivamente feita por escavadeiras hidráulicas e caminhões para efeitos de adequação características da lavra, resta saber a capacidade de produção otimizada dos caminhões e escavadeiras, bem como a quantidade ideal de equipamentos no ciclo de operações.

Para obtenção do dimensionamento dos equipamentos de escavação e de transporte, o presente estudo de caso faz uso dos conceitos fundamentais citados na revisão bibliográfica, como fatores de disponibilidade mecânica, fatores de utilização, capacidade de carga, entre outros, juntamente com os dados de DMT's, produção anual e regime de operação.

4.4. Indicadores de produção e dados fundamentais

Para o dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte para a empresa em estudo foram utilizados os indicadores, como o fator de disponibilidade física, que mede a percentagem de horas que o equipamento está disponível para operação, com relação às horas totais; o fator de utilização, que mede a percentagem das horas disponíveis as quais o equipamento fora utilizado; e o rendimento que é a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas.

No presente estudo de caso os indicadores de produção utilizados foram extraídos dos manuais de fabricantes, para equipamentos de construção civil e mineração. Os indicadores de produção, bem como os demais dados fundamentais necessários para estimativa e composição do ciclo, como características das escavadeiras e dos caminhões estão apresentadas nas tabelas 9 e 10 para equipamentos de pequeno e grande porte respectivamente.

Tabela 9: Principais indicadores de produção para escavadeiras e caminhões de pequeno porte nos 20 anos do projeto

Escavadeira Hitachi EX1200		Caminhão CAT 775D	
Capacidade da concha (m ³)	6.5	Capacidade máxima (m ³)	41.9
Disponibilidade	80%	Disponibilidade	80%
Utilização	90%	Utilização	90%
Eficiência de produção	85%	Eficiência de produção	90%
Regime de operação (h/ano)		8760	

Tabela 10: Principais indicadores de produção para escavadeiras e caminhões de grande porte nos 20 anos do projeto

Escavadeira CAT 5130B ME		Caminhão CAT 785C	
Capacidade da concha (m ³)	17.46	Capacidade máxima (m ³)	91
Disponibilidade	80%	Disponibilidade	80%
Utilização	90%	Utilização	90%
Eficiência de produção	85%	Eficiência de produção	90%
Regime de operação (h/ano)		8760	

4.5. Análise dos ciclos para estimativa de produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte

Segundo referenciado na introdução, um dos principais problemas em diferentes minas a céu aberto é a seleção do número e porte ideal de equipamentos de carregamento e de transporte que satisfaçam os critérios operacionais e econômicos dentro de uma mineração. Este problema pode ser enfrentado tanto na fase de projeto como durante o desenvolvimento da mineração, o que na prática não é dada a devida atenção à construção de cenários para o dimensionamento e seleção de equipamentos por parte dos gestores.

De forma a atender às características e as condições da lavra, e mantendo-se o sistema de carregamento já praticado pela empresa, utilizando escavadeiras hidráulicas de pequeno e grande porte como equipamentos de carregamento, com as características apresentadas nas tabelas 11 e 12 respectivamente:

Tabela 11: Dados para cálculo da produtividade das escavadeiras de pequeno porte

Característica das escavadeiras	Valor
Volume de concha (m ³)	6.5
Fator de enchimento	85%
Densidade do material (g/cm ³)	2.0
Disponibilidade	80%
Utilização	90%
Eficiência de produção	85%

Tabela 12: Dados para cálculo da produtividade das escavadeiras de grande porte

Característica das escavadeiras	Valor
Volume de concha (m ³)	17.46
Fator de enchimento	85%
Densidade do material (g/cm ³)	2.0
Disponibilidade	80%
Utilização	90%
Eficiência de produção	85%

Os dados das tabelas 11 e 12 foram levantados nos manuais dos fabricantes dos equipamentos de construção civil e de mineração.

Para as características dos caminhões e demais variáveis componentes do ciclo necessárias para estimativa da produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte dos dois tipos de porte, estão apresentados nas tabelas 14 e 15 do anexo 5.

4.6. Dimensionamento da frota

O dimensionamento dos equipamentos apresentados nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 do anexo 6, foi feito usando o modelo desenvolvido neste trabalho aplicando os indicadores de produção, permitindo estimar o número otimizado de equipamentos de escavação e de transporte.

Usando os dados das Tabelas 16, 17, 18 e 19 do anexo 6, é possível calcular os tempos que os caminhões ficarão em fila de espera para serem carregados pela escavadeira (Tabelas 20 e 21 do anexo 7).

CAPÍTULO 5.

ANÁLISE DOS RESULTADOS COM FOCO NA COMPARAÇÃO DA FROTA

Nesse capítulo cinco é apresentada a análise dos resultados e comparação da utilização dos equipamentos de pequeno e grande porte dimensionada no capítulo anterior. Essa análise e comparação dos equipamentos de escavação e de transporte, dá ao tomador de decisão uma visão econômico-operacional 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 Análise dos resultados

Para o dimensionamento explicitado de equipamentos de pequeno porte, obteve-se a composição de 4 unidades de equipamentos de escavação desde o primeiro até ao vigésimo ano; 22 caminhões para o primeiro e segundo ano, 24 no terceiro ano, 30 caminhões no sexto ano, 35 no nono ano, 40 no décimo segundo ano, 43 no décimo sexto e 49 caminhões no vigésimo ano. Enquanto que para os equipamentos de grande porte, obteve-se 2 unidades de equipamentos de escavação desde o primeiro até ao vigésimo ano, 9 caminhões no primeiro e segundo ano, 10 no terceiro ano, 12 para o sexto ano, 15 no nono ano, 17 no décimo segundo ano, 18 no décimo sexto ano e finalmente 21 caminhões no vigésimo ano, como é ilustrado na Tabela 13.

Tabela 13: Número de equipamentos de pequeno e grande porte nos 20 anos do projeto

Ano	Equipamentos de pequeno porte		Equipamentos de grande porte	
	Nº de escavadeiras	Nº de caminhões	Nº de escavadeiras	Nº de caminhões
1	4	22	2	9
2	4	22	2	9
3	4	24	2	10
4	4	27	2	11
5	4	27	2	11
6	4	30	2	12
7	4	29	2	12
8	4	33	2	14
9	4	35	2	15
10	4	37	2	15
11	4	36	2	15
12	4	40	2	17
13	4	41	2	17
14	4	43	2	18
15	4	42	2	18
16	4	43	2	18
17	4	48	2	20
18	4	49	2	21
19	4	51	2	21
20	4	49	2	21

O número de caminhões foi aumentando devido à variação da produção planejada principalmente em função do incremento da DMT e do tempo de ciclo dos caminhões a cada ano. Pequenas variações nos indicadores podem reduzir ou aumentar o número de equipamentos, o que implica que uma pequena melhoria em qualquer um dos indicadores, seja na disponibilidade, utilização, eficiência operacional ou produtividade, poderá reduzir a demanda de equipamentos.

Apesar do dimensionamento dos equipamentos por indicadores de produção gerar resultados representativos à realidade da operação, este deve ser utilizado em conjunto com outras ferramentas, métodos e oportunidades adequadas a cada caso e equipamento a ser dimensionada.

5.2. Comparação entre uso de equipamentos de pequeno e grande porte

Fazendo uma análise comparativa entre a utilização de equipamentos de pequeno porte e a migração para equipamentos de grande porte do ponto de vista puramente operacional segundo o dimensionamento ilustrado nas tabelas 15, 16, 17 e 18 do anexo 6 ou 21 feitos usando o modelo desenvolvido nessa dissertação, conclui-se que há uma demanda dos equipamentos de pequeno porte em relação aos equipamentos de grande porte (**Error! Reference source not found.** e Figura 34), o que implica que seja prático para esse projeto a utilização dos equipamentos de grande porte.

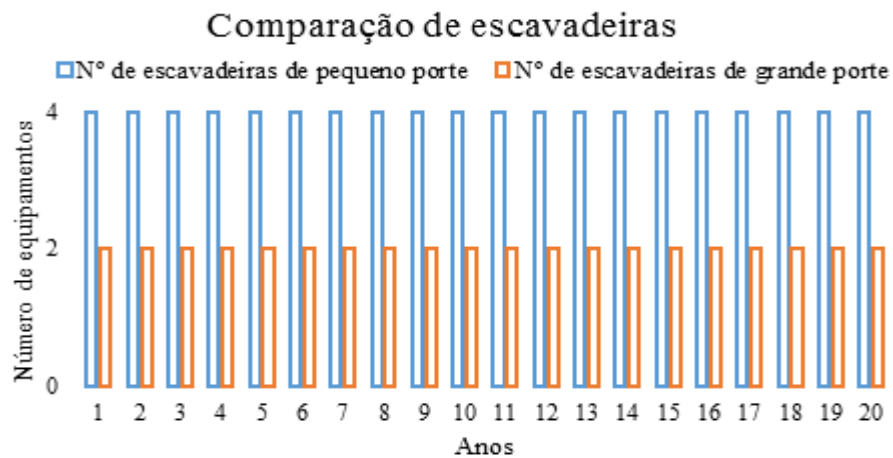


Figura 33: Comparação da demanda de escavadeiras

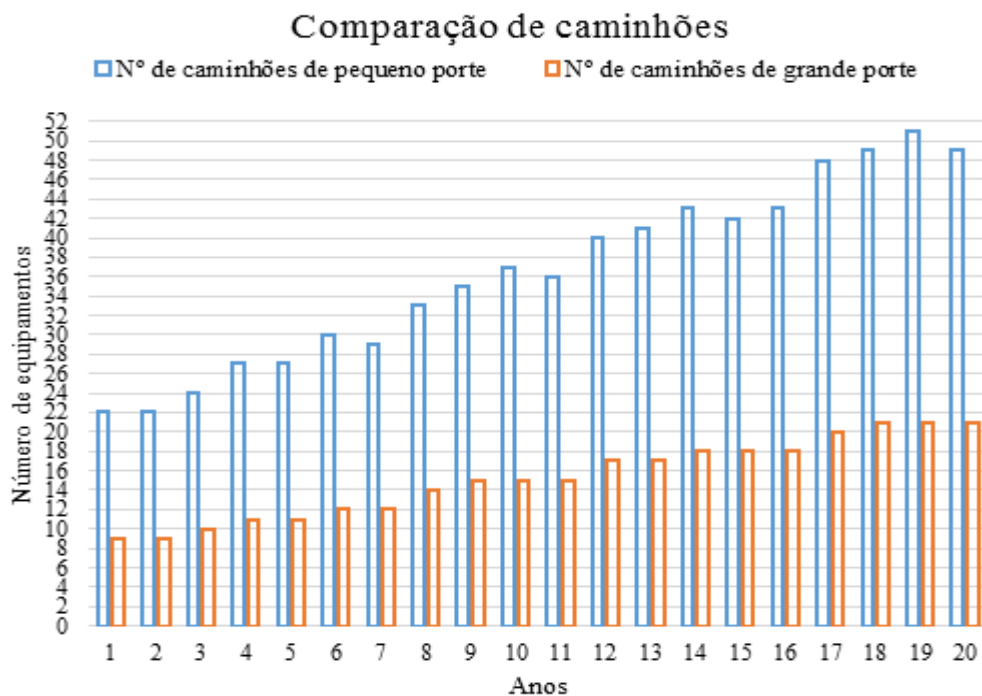


Figura 34: Comparação da demanda de caminhões

CAPÍTULO 6.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Conclusões

Como já foi citado na revisão bibliográfica, um dos principais problemas em diferentes minas a céu aberto é a seleção do número e porte de equipamentos de carga e de transporte que irão satisfazer alguns critérios operacionais e econômicos dentro da mina. Este problema é enfrentado tanto na fase de projeto como durante o funcionamento da mina, caso exista expansão das operações. No entanto na prática não é dada a devida atenção á construção de cenários para o dimensionamento e seleção de equipamento por parte dos gestores.

O estudo e análise dos métodos e conceitos fundamentais da seleção e dimensionamento de equipamentos de escavação e de transporte presentes na literatura atual foram base para o entendimento e aplicação prática dos principais conceitos e técnicas relacionados ao dimensionamento dos equipamentos. Todavia, das diversas técnicas e conceitos para dimensionamento de equipamentos na literatura, neste trabalho foi utilizado o dimensionamento por indicadores de produção, que se bem utilizados geram resultados com um bom nível de aderência à realidade da operação.

O modelo desenvolvido neste trabalho é aplicável a qualquer tipo de equipamentos de escavação e de transporte, independente do seu porte e volume de produção.

A partir da inserção de algumas variáveis como os indicadores de produção dos equipamentos, o modelo criado é capaz de fornecer:

- A capacidade da caçamba a ser usado nos equipamentos de escavação;
- O número de unidades de escavadeiras necessário para operar com as unidades de transporte;
- O número de unidades de transporte necessário para operar com as unidades de escavação;
- O tempo de espera que uma unidade de transporte irá levar para ser carregado pela unidade de escavação.

Os serviços de escavação podem apresentar características muito específicas e particulares, por exemplo: escavação linear, abertura de valas e trincheiras; conservação e limpeza de cursos de água e taludes. Assim, julga-se vantajoso verificar se os critérios definidos no presente modelo são aplicáveis ou adaptáveis a obras que não se restrinjam à escavação comum.

O estudo de caso teve como objetivo fazer um estudo comparativo entre a utilização de equipamentos de pequeno porte e a migração para equipamentos de grande porte do ponto de vista puramente operacional com a utilização do sistema de dimensionamento de frota de equipamento desenvolvido neste trabalho.

Com a utilização dos conceitos fundamentais implementados no modelo desenvolvido, chegou-se a uma frota de escavadeira e caminhões de pequeno porte para a movimentação do material planejado por ano, composta por 22 caminhões e 4 escavadeiras hidráulicas para o carregamento no primeiro ano, enquanto que para escavadeiras e caminhões de grande porte é composto por 9 caminhões e 2 escavadeiras hidráulicas. O número de caminhões irá aumentar nos dois tipos de porte de equipamentos até ao vigésimo ano devido ao aumento do tempo de ciclo dos caminhões causado pelo incremento das DMTs.

Como a meta do trabalho era de elaborar uma metodologia para o dimensionamento de frota de equipamentos móveis para projetos conceituais de mineração e dimensionar uma frota de carregamento e de transporte para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de produção, e com objetivo de fornecer uma forma flexível, no sentido de poder selecionar e compatibilizar os equipamentos de mineração, pode-se afirmar que estes foram solucionados e respondidos pelo trabalho.

Pretende-se assim, que com este trabalho de dissertação, fornecer uma ferramenta útil para o apoio à decisão no dimensionamento de equipamentos de escavação e de transporte de pequeno e grande porte capaz de suprir a necessidade de uma consulta de mercado.

6.2. Trabalhos Futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros, juntamente com o dimensionamento de frotas e seleção de equipamentos:

- A análise aprofundada dos riscos envolvidos, e como mitiga-los, no projeto e/ou mudança de sistemas de produção em mineração;
- O estudo da influência do dimensionamento de frota nos custos unitários dos equipamentos;
- Desenvolvimento de uma metodologia, não tendo apenas em conta aos equipamentos de escavação, mas sim de todos os equipamentos que podem estar envolvidos em atividades de mineração como os tratores de esteira, scraper, motoniveladoras e carregadeiras frontais sobre pneus.

7. REFERÊNCIAS

BAŞÇETIN, A.; ÖZTAŞ, O.; KANLI, A. İ. A new development software for equipment selection in mining engineering. South-African Institute of Mining and Metallurgy, South-Africa, 2006. p.44

BORGES, T. C, 2013. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Pg. 43-61

BOZORGEBRAHIMI, E.; HALL, R. A.; BLACKWELL, G. H. "Sizing equipment for open pit mining – a review of critical parameters". Institute of Materials, Minerals and Mining in association with AusIMM. Canada. 2003. Pg. 114-115

CALHAU, F. E. C, Apoio à Decisão na Seleção de Equipamentos de Escavação, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Instituto Técnico de Lisboa, 2013. Pg. 28-44.

CATERPILLAR. Brochure - 320D L Hydraulic Excavator. 2007. 7p

CATERPILLAR, Catálogo de Estimativa de tempos de ciclos para os caminhões 777D e 777G. 2009.11p.

CATERPILLAR Inc. Manual de Desempenho (PHB). 42ª edição, Peoria, Illinois, EUA. USA, 2012. Pg. 260-792.

CLARKE, M.P. DENBY, B. SCHOFIELD, D. Decision making tools for surface mine equipment selection. Mining Science and Technology, n.10. 1990. Pg 323-335.

COUTO, R. T. Da S. Lavras a céu aberto e equipamentos principais. Dissertação de doutoramento apresentada à Faculdade de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia de Minas. 1990. Pg 68-70

DARLING, P. SME Mining Engineering Handbook.3rd ed., Littleton: Society of Mining, Metallurgy and Exploration, 2011. 1981p.

ERIC N. B. Selection and Sizing of Excavating, Loading, and Hauling Equipment. CHAPTER 10.4. Revista científica

FARIA, J. A, 2009/10. Tecnologia de Movimentação de Terras 8. FEUP. 14p Relatório técnico

GREGORY B S, Truck Selection Principal Mining Engineer, AMC Consultants Pty Ltd, 9 Havelock Street, West Perth, WA. 2000. 20p. Revista científica

HITACHI Construction Machinery. Brochure - ZX210W-3. Japan : s.n.

HITACHI Construction Machinery. Brochure, ZAXIS 200. Japan : s.n.

JAWORSKI. T. Manual de Equipamentos para Escavação – Compactação e Transporte. Revisão e digitalização por Prof. Camilo Borges Neto, Ms.C.Eng. Civil; Out/2011. p. 18-30

KOMATSU. Catálogo PC350 LC/NLC-8. 2008.

KOMATSU. Catálogo – Dump Trucks Productivity. 8p

KOMATSU. Specifications & Application Handbook, 27 Edition. Japan: s.n., 2006. Pp. 177-695

LIEBHERR. Diesel – Electric Mining Trucks (revista JUNE 2010 International Mining 31)

LIEBHERR. Surface loading (revista MARCH 2011 International Mining 53)

LIZOTTE, Y. Economic and Technical relations between open-pit design and equipment selection. Proceedings of the Mine Planning and Equipment Selection. Singhal (Ed). Balkema, Rotterdam, 1988. P. 12-19

LOPES, J. R. Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. 2010. 105p

PERONI, R. L. Notas de aula da disciplina de Introdução da lavra à céu aberto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programas de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgia e de Materias , 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 Católica do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009.

RICARDO, H. S. e CATALANI, G. Manual prático de escavação - terraplenagem e escavação de rocha. 3ª Edição. São Paulo: PINI, 2007.

RUNGE, I. Mining Economics and Strategy. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Colorado, 1988. 293p

RUNGE LIMITAD. Curso de formação em software Tulpac, Austrália 2012, Pg 5-6

SENAC – Rio Grande do Sul. Apostila de Programação VBA para Excel, Porto Alegre, 2010. 06p

SILVA, Antônio. Sebenta de Introdução à Computação – Visual Basic, ISEP 2009. p 53-63

SILVA, V. C. Apostila de Carregamento e transporte de rochas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009. Pg. 32-89

SOUSA JÚNIOR, W. T. Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão: estudo de caso - Mineração de bauxita. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. 2012. 160p

SOUZA, J. C. Apostila da disciplina: “Métodos de lavra à céu aberto e equipamentos de mineração” Universidade Federal de Pernambuco Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia de Minas. Recife, Janeiro de 2001

THOMPSON, RJ. Surface strip coal mining handbook. South Africa Colliery Managers Association. Project SACMA 2005

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. São Paulo: Atlas, 1997.

VOLVO Construction Equipment. Sweden 2007-9–XX. 27p Revista científica

VOLVO. Equipamentos para Construção Civil e Mineração. Brasil 2003. 15p. Revista científica.

VOLVO. Equipamentos para Construção Civil e Mineração. Curitiba, 2009. 31p. Revista científica.

VOLVO Excavator, Attachments. Konz: s.n., 2009. 13p Revista científica

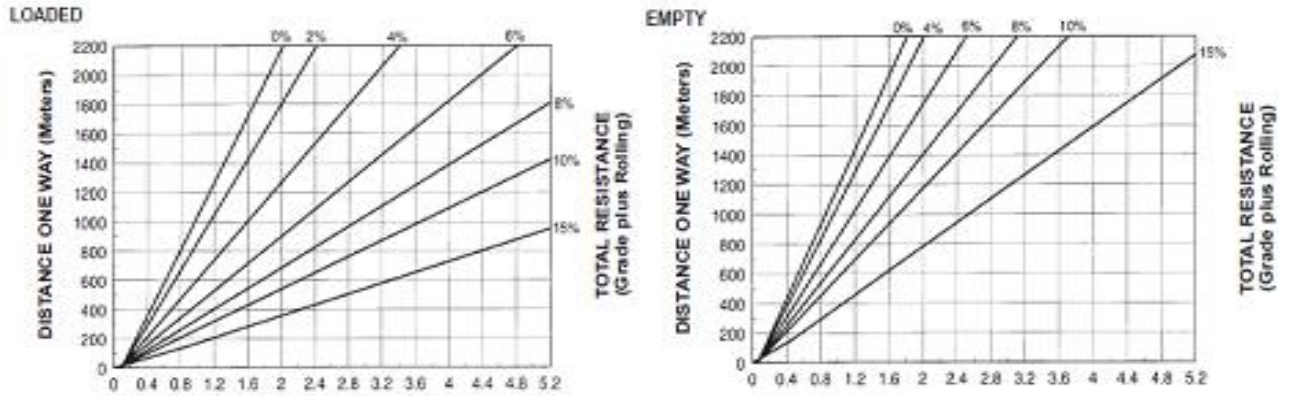
http://www.macoratti.net/vb_forms.htm

<https://www.youtube.com/watch?v=CNG1EVe3jG0>

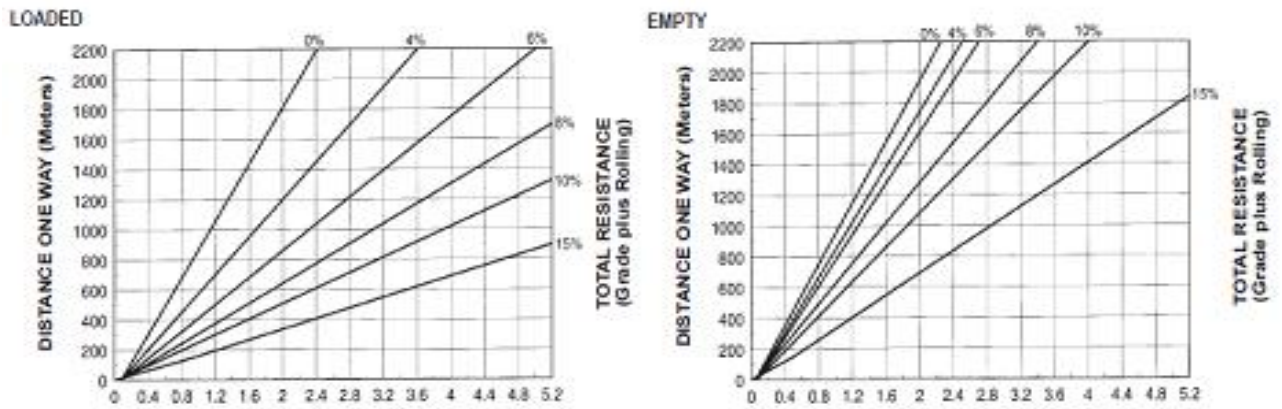
ANEXOS

A.1. Tempos de Deslocamento Carregado e Vazio de Alguns Caminhões da Caterpillar

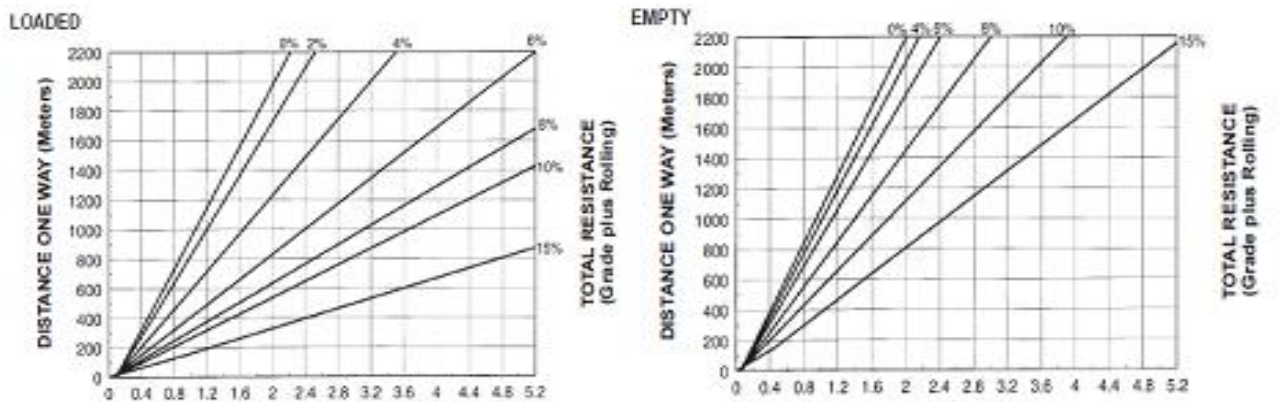
Tempos de Deslocamento de 769D



Tempos de Deslocamento de 771D

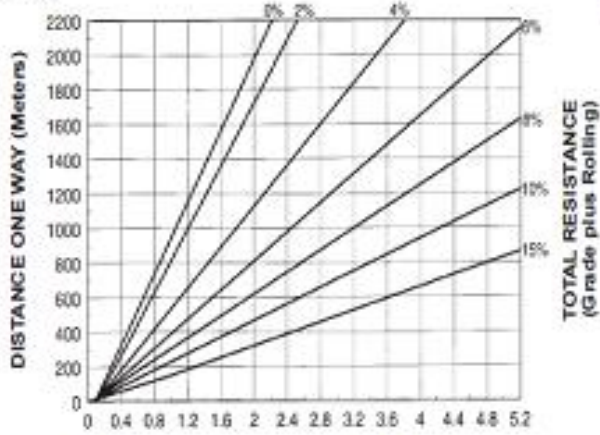


Tempos de Deslocamento de 773D

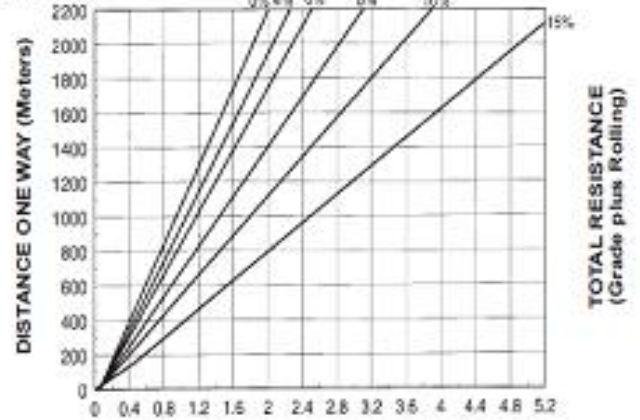


Tempos de Deslocamento de 775D

LOADED

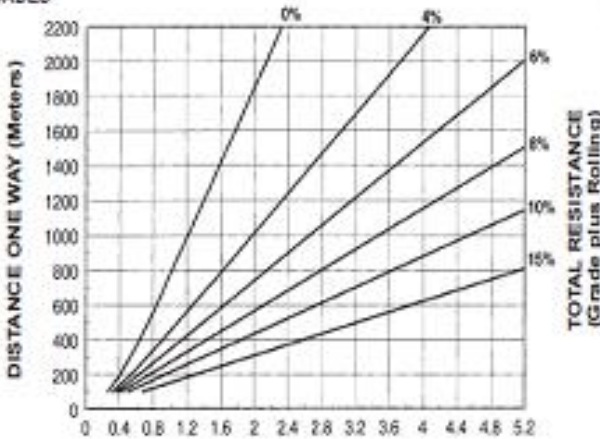


EMPTY

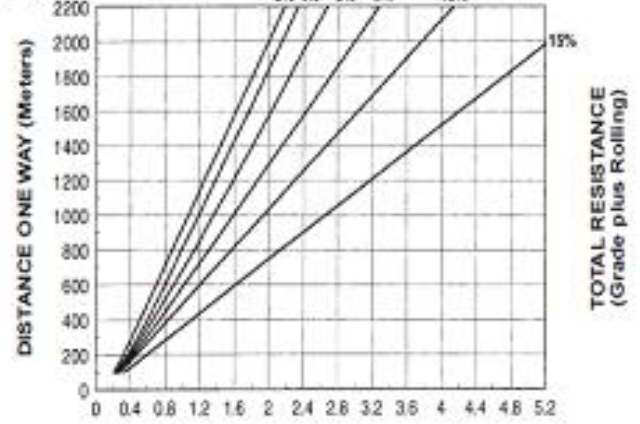


Tempos de Deslocamento de 777D

LOADED

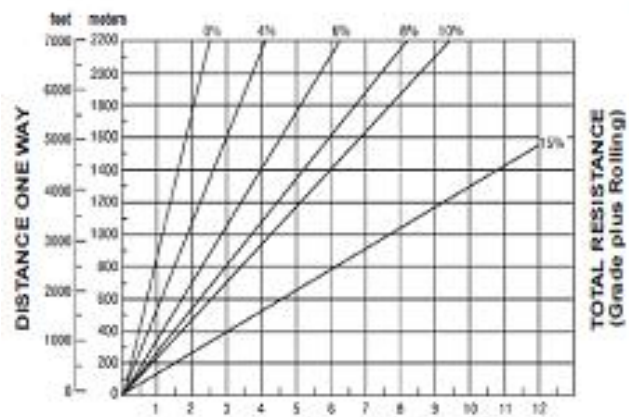


EMPTY

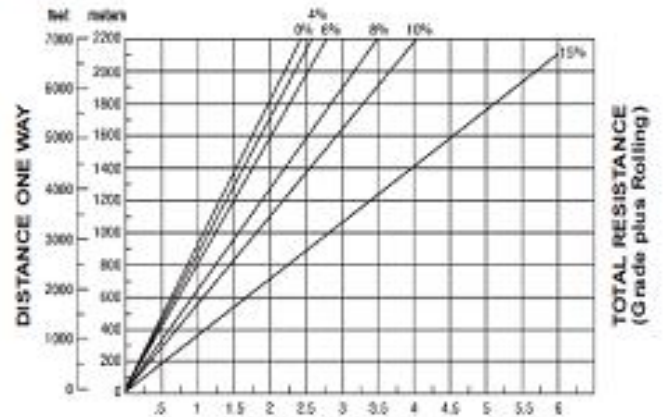


Tempos de Deslocamento de 785C

LOADED

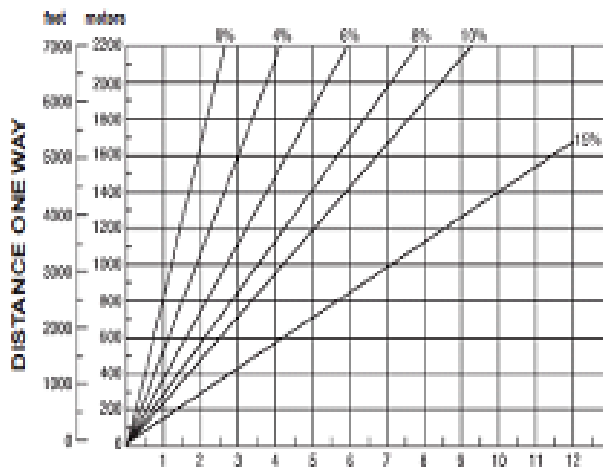


EMPTY

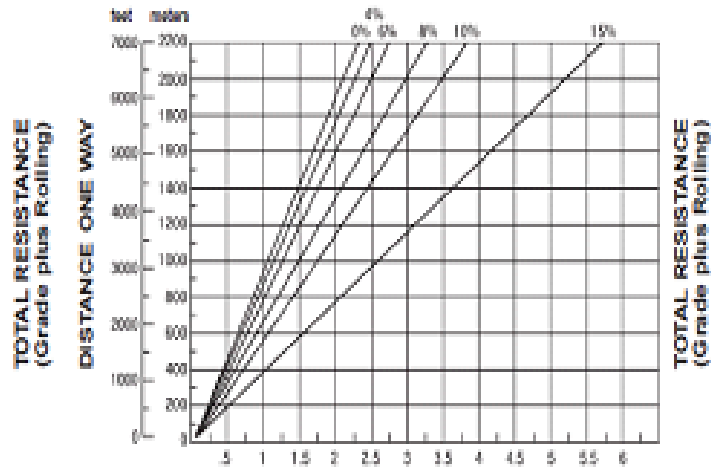


Tempos de Deslocamento de 789C

LOADED

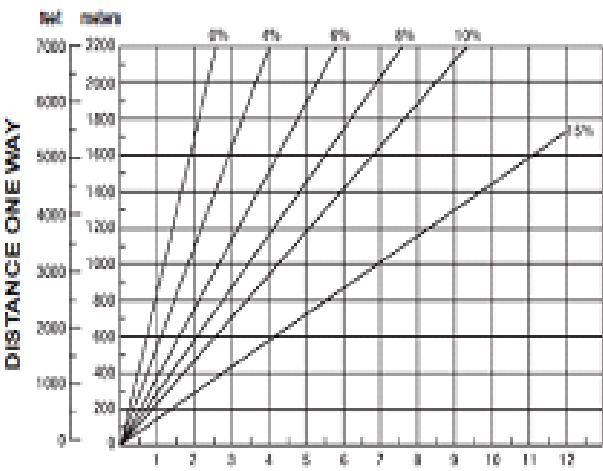


EMPTY

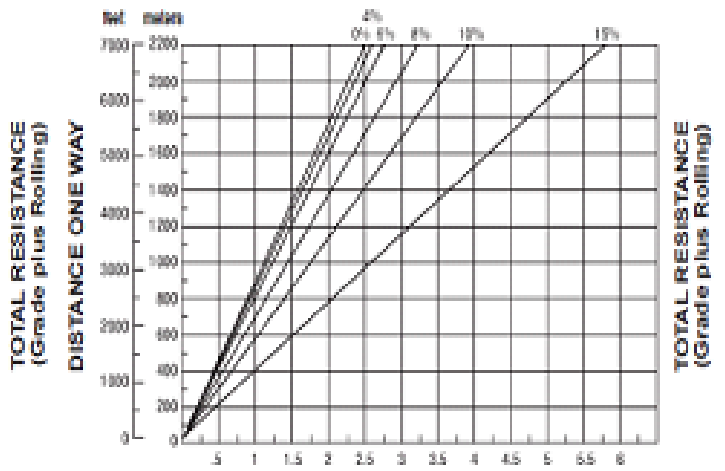


Tempos de Deslocamento de 793C

LOADED

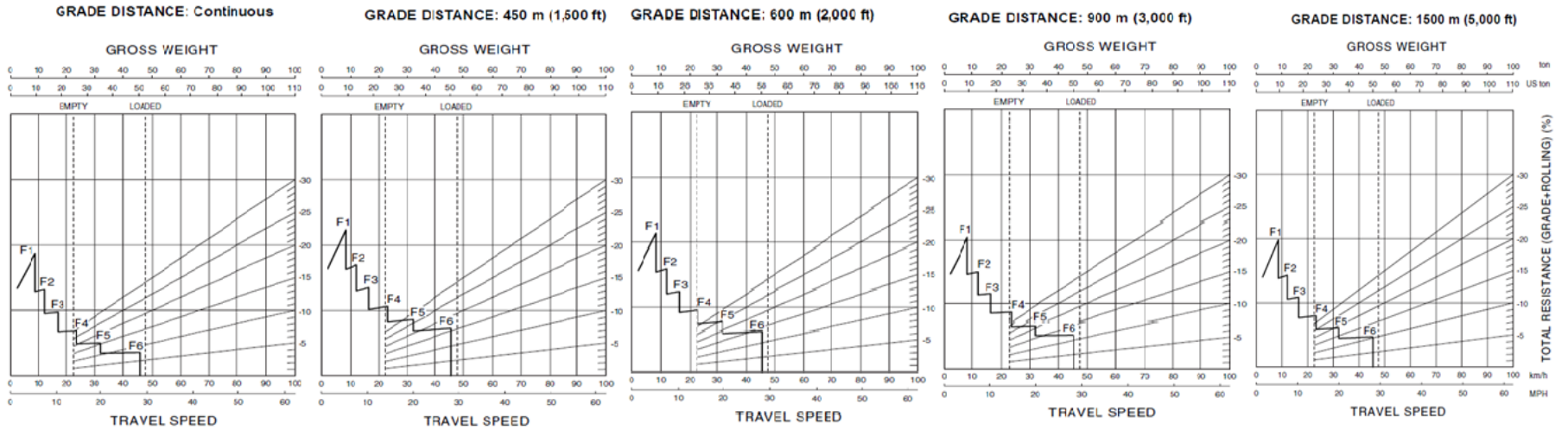


EMPTY

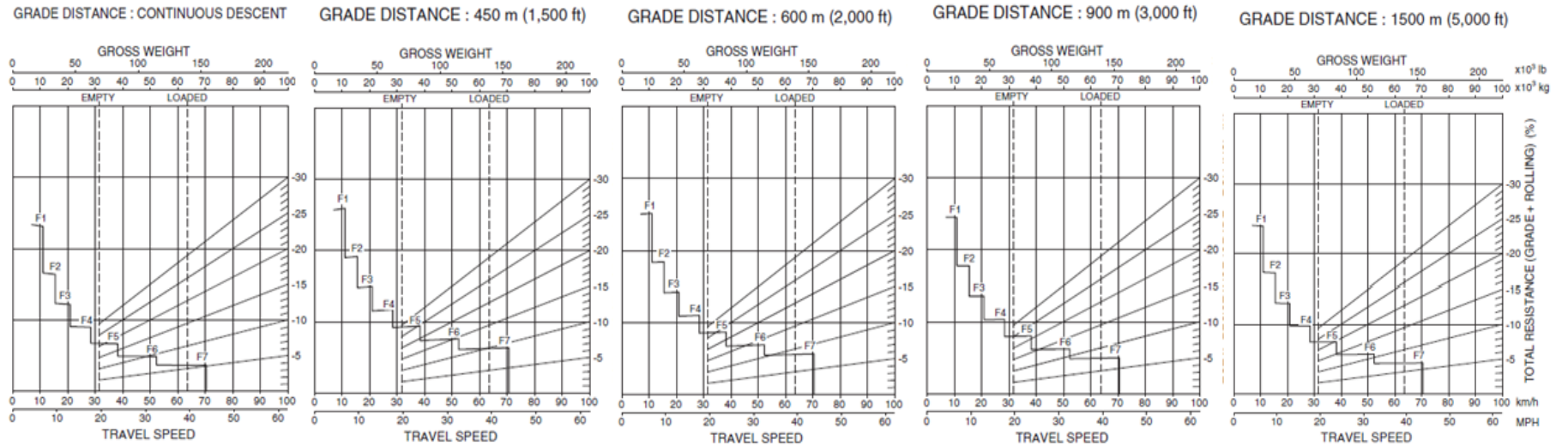


A.2. Tempos de Deslocamento Carregado e Vazio de Alguns Caminhões da Komatsu

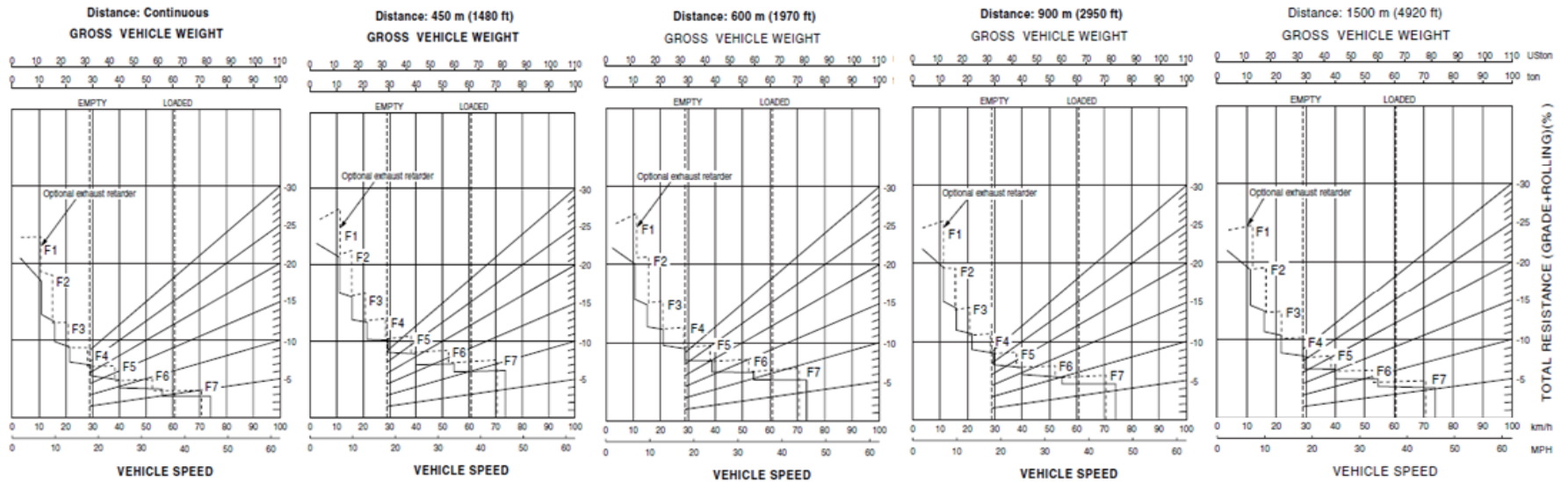
HD255-5



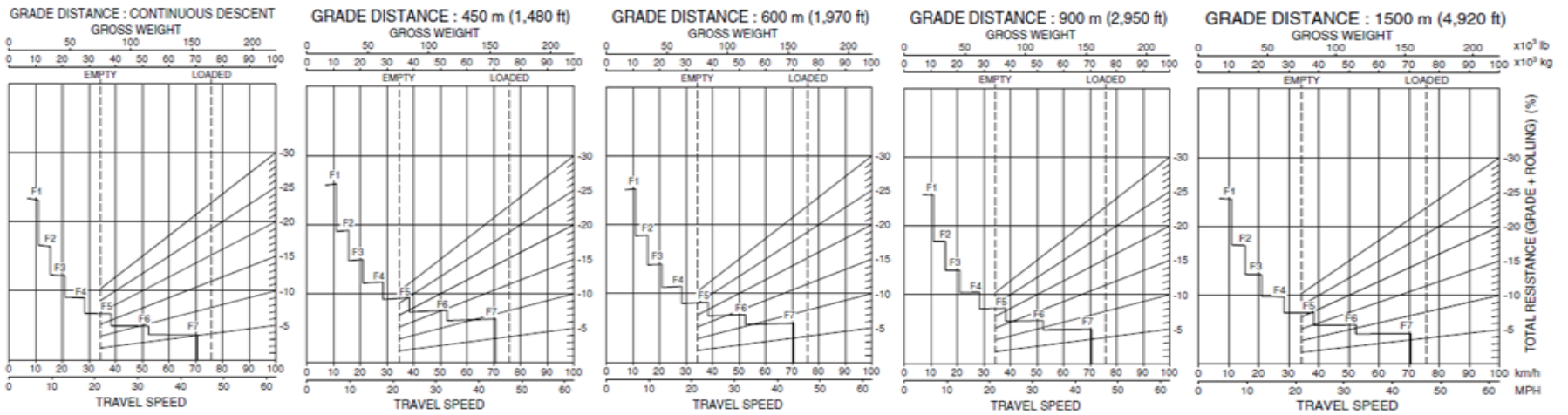
HD325-7



HD325-6



HD405-7



A.3. Lista de Algumas Escavadeiras de Uso na Mineração À Céu Aberto

Equipamento	Fabricante	<u>Modelo</u>	Lavra	Especificações
Escavadeira Elétrica	Bucyrus	182	Superfície	18.2 t / 5.7 - 17.6 m ³
Escavadeira Elétrica	Bucyrus	495HF	Superfície	100 t / 26.8 - 61.2 m ³
Escavadeira Elétrica	Bucyrus	495HR	Superfície	101 t / 26.8 - 61.2 m ³
Escavadeira Elétrica	Bucyrus	795B	Superfície	122.5 t / 53.5 - 68.8 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	301.5	Superfície	0,018 - 0,056 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	302.5	Superfície	0,35 - 0,92 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	307B	Superfície	0,14 - 0,28 M ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	307B SB	Superfície	0,09 - 0,35 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	311B	Superfície	0,35 - 0,78 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	312B	Superfície	0,35 - 0,75 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	312B L	Superfície	0,24 - 0,78 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	315B	Superfície	0,37 - 0,84 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	315B L	Superfície	0,37 - 0,9 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	317B L	Superfície	0,41 - 1,2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	317B LN	Superfície	0,41 - 1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	318B L	Superfície	0,41 - 1,35 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	318B LN	Superfície	0,41 - 1,35 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	300,9D	Superfície	0.014 - 0,018 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	301,4C	Superfície	0,018 - 0,056 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	301,6C	Superfície	0,018 - 0,056 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	301,8C	Superfície	0,018 - 0,056 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	302,5C	Superfície	0,035 - 0,092 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	302,7D CR	Superfície	0,035 - 0,092 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	303,5D CR	Superfície	0,05 - 0,16 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	304D CR	Superfície	0,05 - 0,16 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	305D CR	Superfície	0,08 - 0,30 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	305,5**	Superfície	0,18 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	307C**	Superfície	0,1 - 0,37 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	307D	Superfície	0,1 - 0,37 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	308D CR	Superfície	0,14 - 0, 28 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	308D CR SB	Superfície	0,1 - 0,37 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	311D RR	Superfície	0,32 - 0,63 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	311D LRR	Superfície	0,25 - 0,74 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	312D	Superfície	0,21 - 0,72 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	312D L	Superfície	0,21 - 0,74 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	321D RS	Superfície	0,32 - 0,45 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	313D CR	Superfície	0,32 - 0,5 m ³

Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	314D CR	Superfície	0,25 - 0,74 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	314D LCR	Superfície	0,25 - 0,74 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	315D L	Superfície	0,33 - 0,88 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	319D L	Superfície	0,38 - 1,13 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	319D LN	Superfície	0,38 - 1,13 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M312	Superfície	0,24 - 0,86 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M313D Atualização	Superfície	0,18 - 1,26 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M315	Superfície	0,24 - 0,86 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M315D Atualização	Superfície	0,38 - 1,26 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M316D Atualização	Superfície	0,38 - 1,26 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M318	Superfície	0,4 - 1,05 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M318D Atualização	Superfície	0,38 - 1,26 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M320	Superfície	0,41 - 1,35 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320B	Superfície	0,41 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320B L	Superfície	0,41 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320 N	Superfície	0,45 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320B LN	Superfície	0,41 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320B S	Superfície	0,41 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D	Superfície	0,45 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D L	Superfície	0,45 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D GR	Superfície	0,8 - 0,9 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D RR	Superfície	0,8 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D L	Superfície	0,45 - 1,7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D LN	Superfície	0,45 - 1,7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	320D LRR	Superfície	0,8 - 1,7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	321D LCR	Superfície	0,8 - 1,7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	323D L	Superfície	0,47 - 1,38 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	323D LN	Superfície	0,41 - 1,7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	323D AS	Superfície	0,41 - 1,7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	324D	Superfície	0,9 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	324D L	Superfície	0,5 - 2,0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	324E	Superfície	1,0 - 1,4 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	324E L	Superfície	0,45 - 2,12 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	324E LN	Superfície	1,3 - 2,12 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	328D LCR	Superfície	0,5 - 2,0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329D	Superfície	1,1 - 1,6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329D L	Superfície	0,54 - 2,29 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329D L	Superfície	0,54 - 2,29 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329D LN	Superfície	0,54 - 2,29 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329E	Superfície	1,1 - 1,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329E L	Superfície	0,45 - 2,12 m ³

Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	329E LN	Superfície	1,5 - 2,12 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	336D	Superfície	1,4 - 2,0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	336D L	Superfície	0,7 - 2,4 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	336D LN	Superfície	1,11 - 2,4 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	336E	Superfície	1,4 - 2,0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	336E L	Superfície	0,74 - 3,16 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	336E LN	Superfície	1,18 - 2,41 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	340D HDHW	Superfície	1,11 - 2,4 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	349 D - FIX	Superfície	1,0 - 3,1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	349D L - FIX	Superfície	1,0 - 3,1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	349D L VG	Superfície	2,0 - 3,6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	349E - FIX	Superfície	0,88 - 3,82 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	349E L - FIX	Superfície	0,88 - 3,82 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	349 E L - VG	Superfície	0,88 - 3,82 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	322B	Superfície	0,45 - 1,8 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	322B L	Superfície	0,45 - 1,9 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	322B LN	Superfície	0,63 1,9 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	M322D Atualização	Superfície	0,44 - 1,57 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	325B	Superfície	0,7 - 2,2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	325B L	Superfície	0,7 - 2,2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	32B LN	Superfície	0,63 1,9 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	330B	Superfície	0,7 - 2,2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	330B L	Superfície	0,7 - 2,2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	330B LN	Superfície	0,66 2,1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	345B	Superfície	1,3 - 2,6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	345B L - FIX	Superfície	1,3 - 3,0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	345B L - VG	Superfície	1,3 - 3,0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	345B L - VG	Superfície	1,8 - 3,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	350	Superfície	0,9 - 2,4 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	350 L	Superfície	0,9 - 2,6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	375	Superfície	1,5 - 5,6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Caterpillar	375 L	Superfície	1,5 - 5,6 m ³
Escavadeira Shovel	Caterpillar	385C FS	Superfície	5,7 m ³
Escavadeira Shovel	Caterpillar	5080	Superfície	5,2 m ³
Escavadeira Shovel	Caterpillar	5130B	Superfície	9 - 11 m ³
Escavadeira Shovel	Caterpillar	5230	Superfície	12,5 - 17 m ³
Escavadeira Shovel	Caterpillar	5130B ME	Superfície	8,5 - 18,3 m ³
Escavadeira Shovel	Caterpillar	5230 ME	Superfície	13 - 27,5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX1200-5 Backhoe	Superfície	3.0 - 6.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX1200-5 Loading Shovel	Superfície	5.9 - 6.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX1900-5 Backhoe	Superfície	4.4 - 12.0 m ³

Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX1900-5 Loading Shovel	Superfície	11.0 - 15.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX2500-5 Backhoe	Superfície	13.2 - 15.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX2500-5 Loading Shovel	Superfície	15.0 - 16.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX3600-5 Backhoe	Superfície	19.2 - 22.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX3600-5 Loading Shovel	Superfície	21.0 - 23.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX5500-5 Backhoe	Superfície	26.0 - 29.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX5500-5 Loading Shovel	Superfície	27.0 - 30.6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	EX8000-5 Loading Shovel	Superfície	40.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX450 Backhoe	Superfície	1.15 - 2.65 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX500LC Backhoe	Superfície	1.15 - 2.65 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX520LCH Backhoe	Superfície	1.9 - 2.65 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX650LC Backhoe	Superfície	2.5 - 3.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX670LCH Backhoe	Superfície	2.5 - 3.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX850	Superfície	2.9 - 4.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX850LC	Superfície	2.9 - 4.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX870H	Superfície	2.9 - 4.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Hitachi	ZX870LCH	Superfície	2.9 - 4.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC160LC-7B	Superfície	0.65 - 1.2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC200-6B	Superfície	1.2 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC200LC-6B	Superfície	1.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC350LC-7	Superfície	1.4 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC400LC-7	Superfície	1.9 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC450LC-7	Superfície	1.9 - 2.1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC600LC-8	Superfície	2.7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC750-7	Superfície	3.1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC750SE-7	Superfície	4.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC800-8	Superfície	3.1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC800SE-8	Superfície	4.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC1800	Superfície	11.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC2000-8 Backhoe	Superfície	12.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC2000-8 Loading Shovel	Superfície	11.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC3000	Superfície	15.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC5500 Backhoe	Superfície	28.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC5500 Front Shovel	Superfície	26.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC1250-7 Backhoe	Superfície	3.4 - 6.7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC1250-7 Loading Shovel	Superfície	6.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC1250LC-8 Backhoe	Superfície	3.4 - 6.7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC1250-8 Backhoe	Superfície	3.4 - 6.7 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC1250-8 Loading Shovel	Superfície	6.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC4000 Backhoe	Superfície	22.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC4000 Shovel	Superfície	21.0 m ³

Escavadeira Hidráulica	Komatsu	PC8000 (Backhoe / Shovel)	Superfície	38.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Liebherr	R-996 (Backhoe / Shovel)	Superfície	25.0 - 36.0 m ³
Escavadeira Elétrica	P&H	4100C Boss Shovel	Superfície	90.7 t / 51.0 m ³
Escavadeira Elétrica	P&H	4100XPC Shovel	Superfície	104.3 t / 58.6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Terex O&K	RH340	Superfície	54.5 t / 34.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC700B LC	Superfície	2.5 - 6.6 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC140B LC / LCM	Superfície	0.6 - 1.075 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC240B LC / NLC	Superfície	1.05 - 1.975 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC290B LC / NLC	Superfície	0.95 - 2.1 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC330B LC	Superfície	1.25 - 2.5 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC360B LC / NLC	Superfície	1.27 - 3.0 m ³
Escavadeira Hidráulica	Volvo	EC460B LC	Superfície	1.72 - 3.775 m ³

A.4. Lista de Alguns Caminhões de Uso na Mineração À Céu Aberto

Equipamento	Fabricante	Modelo	Lavra	Especificações
Caminhão	Caterpillar	D25D	Superfície	14 m ³
Caminhão	Caterpillar	D30D	Superfície	16,5 m ³
Caminhão	Caterpillar	D250E Series II	Superfície	13,7 m ³
Caminhão	Caterpillar	D300E Series II	Superfície	16,5 m ³
Caminhão	Caterpillar	D350E Series II	Superfície	19,2 m ³
Caminhão	Caterpillar	D400E Series II	Superfície	22 m ³
Caminhão	Caterpillar	730 Ejector	Superfície	28.1 t
Caminhão	Caterpillar	735	Superfície	32.7 t
Caminhão	Caterpillar	740 C	Superfície	38.0 t
Caminhão	Caterpillar	769D	Superfície	24,2 m ³
Caminhão	Caterpillar	770	Superfície	25,1 m ³
Caminhão	Caterpillar	770G	Superfície	25,1 m ³ - 25,9 m ³
Caminhão	Caterpillar	771D	Superfície	27,5 m ³
Caminhão	Caterpillar	772	Superfície	31,2 m ³ - 31,3 m ³
Caminhão	Caterpillar	772G	Superfície	31,3 m ³ - 32 m ³
Caminhão	Caterpillar	773D	Superfície	45,2 - 45,5 m ³
Caminhão	Caterpillar	773E****	Superfície	35,2 m ³
Caminhão	Caterpillar	773G Camada 4f	Superfície	35,0 m ³
Caminhão	Caterpillar	773G	Superfície	35,0 m ³ - 35,2 m ³
Caminhão	Caterpillar	775D	Superfície	41,2 - 41,5 m ³
Caminhão	Caterpillar	775G Camada 4f	Superfície	41,6 m ³ - 41,9 m ³
Caminhão	Caterpillar	775G	Superfície	41,6 m ³ - 41,9 m ³
Caminhão	Caterpillar	777D	Superfície	60,1 - 60,5 m ³
Caminhão	Caterpillar	777G Camada 4f	Superfície	60,2 m ³

Caminhão	Caterpillar	777G	Superfície	60,2 m ³
Caminhão	Caterpillar	785C	Superfície	78,2 - 91 m ³
Caminhão	Caterpillar	785D	Superfície	91 m ³
Caminhão	Caterpillar	789C	Superfície	105 - 120 m ³
Caminhão	Caterpillar	793	Superfície	129 m ³
Caminhão	Caterpillar	793D Padrão (MA1)	Superfície	176 m ³
Caminhão	Caterpillar	793D Retardo Adicional (MA2)	Superfície	176 m ³
Caminhão	Caterpillar	793F Padrão	Superfície	176 m ³
Caminhão	Caterpillar	793F XLP	Superfície	176 m ³
Caminhão	Caterpillar	795F AC	Superfície	213 m ³
Caminhão	Caterpillar	797	Superfície	220 m ³
Caminhão	Caterpillar	797F	Superfície	240 - 267 m ³
Caminhão	Ginaf	X 5376 T	Superfície	9.0 - 76.0 t
Caminhão	Komatsu	HM350-2	Superfície	32.3 t
Caminhão	Komatsu	HM400-2	Superfície	36.5 t
Caminhão	Komatsu	630E	Superfície	172.0 t
Caminhão	Komatsu	685E	Superfície	181.0 t
Caminhão	Komatsu	730E	Superfície	177.0 - 186.0 t
Caminhão	Komatsu	830E-AC	Superfície	223.0 - 228.0 t
Caminhão	Komatsu	830E	Superfície	218.0 - 231.0 t
Caminhão	Komatsu	930 E-2	Superfície	290.0 t
Caminhão	Komatsu	930 E-3	Superfície	290.9 t
Caminhão	Komatsu	930 E-3SE	Superfície	290.9 t
Caminhão	Komatsu	HD325-6	Superfície	35.7 - 39.3 t
Caminhão	Komatsu	HD405-6	Superfície	63.0 t
Caminhão	Komatsu	HD465-7	Superfície	59.8 - 56.0 t
Caminhão	Komatsu	HD605-5	Superfície	55.3 t
Caminhão	Komatsu	HD785-5	Superfície	94.0 t
Caminhão	Komatsu	HD1500-5	Superfície	136.0 - 149.0 t
Caminhão	Terex O&K	TA25	Superfície	23.0 t
Caminhão	Terex O&K	TA27	Superfície	25.0 t
Caminhão	Terex O&K	TA30	Superfície	28.0 t
Caminhão	Terex O&K	TA35	Superfície	34.0 t
Caminhão	Terex O&K	TA40	Superfície	37.9 t
Caminhão	Terex O&K	BD-270	Superfície	244.9 t
Caminhão	Terex O&K	MT-3000	Superfície	109.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-3300	Superfície	136.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-3300 AC	Superfície	136.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-3600 B	Superfície	154.0 - 172.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-3700	Superfície	172.0 - 186.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-3700 AC	Superfície	186.0 t

Caminhão	Terex O&K	MT-4400	Superfície	236.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-4400 AC	Superfície	236.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-5500	Superfície	326.0 t
Caminhão	Terex O&K	MT-6300 AC	Superfície	363.0 t
Caminhão	Terex O&K	TR35	Superfície	31.8 t
Caminhão	Terex O&K	TR45	Superfície	41.0 t
Caminhão	Terex O&K	TR60	Superfície	55.0 t
Caminhão	Terex O&K	TR70	Superfície	65.0 t
Caminhão	Terex O&K	TR100	Superfície	91.0 t
Caminhão	Volvo	A25E	Superfície	24.0 t
Caminhão	Volvo	A30E	Superfície	28.0 t
Caminhão	Volvo	A35E	Superfície	33.5 t
Caminhão	Volvo	A40E	Superfície	39.0 t
Caminhão	Volvo	A25D 4x4	Superfície	24.0 t
Caminhão	Volvo	A25D Material Leve	Superfície	24.0 t
Caminhão	Volvo	A30D Material Leve	Superfície	28.0 t
Caminhão	Volvo	A25D Baixo Perfil	Superfície	24.0 t
Caminhão	Volvo	A30D Baixo Perfil	Superfície	28.0 t
Caminhão	Volvo	A25D Twin Steer	Superfície	24.0 t
Caminhão	Volvo	A30D Twin Steer	Superfície	28.0 t
Caminhão	Volvo	A25D 6x6	Superfície	24.0 t
Caminhão	Volvo	A30D 6x6	Superfície	28.0 t
Caminhão	Volvo	A35D Material Leve	Superfície	32.5 t
Caminhão	Volvo	A40D Material Leve	Superfície	37.0 t
Caminhão	Volvo	A35D Baixo Perfil	Superfície	32.5 t
Caminhão	Volvo	A40D Baixo Perfil	Superfície	37.0 t
Caminhão	Volvo	A35D 6x6	Superfície	32.5 t
Caminhão	Volvo	A40D 6x6	Superfície	37.0 t

A.5. Componentes necessários para estimativa da produtividade dos equipamentos

Tabela 14: Componentes necessários para estimativa da produtividade dos equipamentos de pequeno porte

Ano	Tc (min)	GC (min)	Escavadeira		Tciclo (min)	Nº passes	Tc (min)	Caminhão				Tciclo (min)
			Basc. (min)	GV (min)				Ttc (min)	Ttv (min)	P. & M. (min)	M. & B. (min)	
1	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	9.60	4.50	0.10	0.12	17.20
2	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	10.40	4.95	0.10	0.12	18.45
3	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	11.2	5.40	0.10	0.12	19.70
4	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	12.00	5.85	0.10	0.12	20.95
5	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	12.80	6.30	0.10	0.12	22.20
6	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	13.60	6.75	0.10	0.12	23.45
7	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	14.40	7.20	0.10	0.12	24.70
8	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	15.20	7.65	0.10	0.12	25.95
9	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	16.00	8.10	0.10	0.12	27.20
10	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	16.80	8.55	0.10	0.12	28.45
11	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	17.60	9.00	0.10	0.12	29.70
12	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	18.40	9.45	0.10	0.12	30.39
13	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	19.20	9.90	0.10	0.12	32.20
14	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	20.00	10.35	0.10	0.12	33.45
15	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	20.80	10.80	0.10	0.12	34.70
16	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	21.60	11.25	0.10	0.12	35.95
17	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	22.40	11.70	0.10	0.12	37.20
18	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	23.20	12.15	0.10	0.12	38.45
19	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	24.00	12.60	0.10	0.12	39.70
20	0.2	0.10	0.08	0.10	0.48	6	2.88	24.80	13.05	0.10	0.12	40.95

Tabela 15: Componentes necessários para estimativa da produtividade dos equipamentos de grande porte

Ano	Escavadeira					Caminhão						
	Tc (min)	GC (min)	Bas. (min)	GV (min)	Tciclo (min)	Nº passes	Tc (min)	Ttc (min)	Ttv (min)	P. & M. (min)	M. & B. (min)	Tciclo (min)
1	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	11	4.50	0.1	0.12	18.84
2	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	12	4.95	0.1	0.12	20.29
3	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	13	5.40	0.1	0.12	21.74
4	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	14	5.85	0.1	0.12	23.19
5	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	15	6.30	0.1	0.12	24.64
6	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	16	6.75	0.1	0.12	26.09
7	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	17	7.20	0.1	0.12	27.54
8	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	18	7.65	0.1	0.12	28.99
9	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	19	8.10	0.1	0.12	30.44
10	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	20	8.55	0.1	0.12	31.89
11	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	21	9.00	0.1	0.12	33.34
12	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	22	9.45	0.1	0.12	34.79
13	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	23	9.90	0.1	0.12	36.24
14	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	24	10.35	0.1	0.12	37.69
15	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	25	10.80	0.1	0.12	39.14
16	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	26	11.25	0.1	0.12	40.59
17	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	27	11.70	0.1	0.12	42.04
18	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	28	12.15	0.1	0.12	43.49
19	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	29	12.60	0.1	0.12	44.94
20	0.2	0.12	0.08	0.12	0.52	6	3.12	30	13.05	0.1	0.12	46.39

A6. Dimensionamento de equipamentos de pequeno e grande porte para um projeto de 20 anos

Tabela 16: Dimensionamento de escavadeiras de pequeno porte

ano	dmt	Produção	Disponib (h/ano.)	Utiliza.	Eficiên. Operac.	C. concha (m ³)	Tciclo (min)	Nº Escava.
1	3000	17,000,000	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.90 4
2	3300	15,995,165	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.67 4
3	3600	16,351,512	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.75 4
4	3900	17,018,004	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.91 4
5	4200	15,974,988	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.67 4
6	4500	16,974,957	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.90 4
7	4800	15,638,794	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.59 4
8	5100	16,926,489	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.89 4
9	5400	17,102,446	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.93 4
10	5700	17,098,503	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.93 4
11	6000	16,131,324	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.70 4
12	6300	16,933,389	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.89 4
13	6600	16,919,402	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.88 4
14	6900	16,878,646	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.87 4
15	7200	16,113,280	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.70 4
16	7500	15,929,415	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.66 4
17	7800	16,950,442	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.89 4
18	8100	16,966,450	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.90 4
19	8400	16,881,061	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.88 4
20	8700	15,960,683	0.80	0.90	0.85	6.50	0.48	3.66 4

Tabela 17: Dimensionamento de caminhões de pequeno porte

Ano	DMT	Produção	Dispo. (h/ano.)	Utiliza.	Eficiên. Operac.	C. concha (m3)	Tciclo (camin)	Nº Passe	Nº Caminh.	
1	3000	17,000,000	0.80	0.90	0.90	6.50	17.20	6	22.01	22
2	3300	15,995,165	0.80	0.90	0.90	6.50	18.45	6	22.22	22
3	3600	16,351,512	0.80	0.90	0.90	6.50	19.70	6	24.25	24
4	3900	17,018,004	0.80	0.90	0.90	6.50	20.95	6	26.84	27
5	4200	15,974,988	0.80	0.90	0.90	6.50	22.20	6	26.70	27
6	4500	16,974,957	0.80	0.90	0.90	6.50	23.45	6	29.97	30
7	4800	15,638,794	0.80	0.90	0.90	6.50	24.70	6	29.08	29
8	5100	16,926,489	0.80	0.90	0.90	6.50	25.95	6	33.07	33
9	5400	17,102,446	0.80	0.90	0.90	6.50	27.20	6	35.02	35
10	5700	17,098,503	0.80	0.90	0.90	6.50	28.45	6	36.63	37
11	6000	16,131,324	0.80	0.90	0.90	6.50	29.70	6	36.07	36
12	6300	16,933,389	0.80	0.90	0.90	6.50	30.95	6	39.46	40
13	6600	16,919,402	0.80	0.90	0.90	6.50	32.20	6	41.02	41
14	6900	16,878,646	0.80	0.90	0.90	6.50	33.45	6	42.50	43
15	7200	16,113,280	0.80	0.90	0.90	6.50	34.70	6	42.09	42
16	7500	15,929,415	0.80	0.90	0.90	6.50	35.95	6	43.11	43
17	7800	16,950,442	0.80	0.90	0.90	6.50	37.20	6	47.47	48
18	8100	16,966,450	0.80	0.90	0.90	6.50	38.45	6	49.11	49
19	8400	16,881,061	0.80	0.90	0.90	6.50	39.70	6	50.45	51
20	8700	15,960,683	0.80	0.90	0.90	6.50	40.95	6	49.21	49

Tabela 18: Dimensionamento de escavadeiras de grande porte

Ano	DMT (m)	Produção (t/ano)	Disponib (h/ano.)	Utiliza.	Eficiên. Operac.	C. concha (m³)	Tciclo (min)	Nº Escava.	
1	3000	17,000,000	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
2	3300	15,995,165	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.48	2
3	3600	16,351,512	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.51	2
4	3900	17,018,004	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.58	2
5	4200	15,974,988	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.48	2
6	4500	16,974,957	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
7	4800	15,638,794	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.45	2
8	5100	16,926,489	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
9	5400	17,102,446	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.58	2
10	5700	17,098,503	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.58	2
11	6000	16,131,324	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.49	2
12	6300	16,933,389	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
13	6600	16,919,402	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
14	6900	16,878,646	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.56	2
15	7200	16,113,280	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.49	2
16	7500	15,929,415	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.47	2
17	7800	16,950,442	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
18	8100	16,966,450	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.57	2
19	8400	16,881,061	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.56	2
20	8700	15,960,683	0.80	0.90	0.85	17.46	0.52	1.48	2

Tabela 19: Dimensionamento de caminhões de grande porte

Ano	DMT (m)	Produção (t/ano)	Dispo. (h/ano.)	Utiliza.	Eficiên. Operac.	C. concha (m3)	Tciclo (camin)	Nº Passe	Nº Caminh.	
1	3000	17,000,000	0.80	0.90	0.90	17.46	18.84	6	8.98	9
2	3300	15,995,165	0.80	0.90	0.90	17.46	20.29	6	9.10	9
3	3600	16,351,512	0.80	0.90	0.90	17.46	21.74	6	9.96	10
4	3900	17,018,004	0.80	0.90	0.90	17.46	23.19	6	11.06	11
5	4200	15,974,988	0.80	0.90	0.90	17.46	24.64	6	11.03	11
6	4500	16,974,957	0.80	0.90	0.90	17.46	26.09	6	12.41	12
7	4800	15,638,794	0.80	0.90	0.90	17.46	27.54	6	12.07	12
8	5100	16,926,489	0.80	0.90	0.90	17.46	28.99	6	13.75	14
9	5400	17,102,446	0.80	0.90	0.90	17.46	30.44	6	14.59	15
10	5700	17,098,503	0.80	0.90	0.90	17.46	31.89	6	15.28	15
11	6000	16,131,324	0.80	0.90	0.90	17.46	33.34	6	15.07	15
12	6300	16,933,389	0.80	0.90	0.90	17.46	34.79	6	16.51	17
13	6600	16,919,402	0.80	0.90	0.90	17.46	36.24	6	17.18	17
14	6900	16,878,646	0.80	0.90	0.90	17.46	37.69	6	17.83	18
15	7200	16,113,280	0.80	0.90	0.90	17.46	39.14	6	17.68	18
16	7500	15,929,415	0.80	0.90	0.90	17.46	40.59	6	18.12	18
17	7800	16,950,442	0.80	0.90	0.90	17.46	42.04	6	19.97	20
18	8100	16,966,450	0.80	0.90	0.90	17.46	43.49	6	20.68	21
19	8400	16,881,061	0.80	0.90	0.90	17.46	44.94	6	21.26	21
20	8700	15,960,683	0.80	0.90	0.90	17.46	46.39	6	20.75	21

A7. Tempos de espera dos caminhões em serem carregados pelas escavadeiras

Tabela 20: Tempo de espera de carregamento dos caminhões de pequeno porte

Ano	DMT	Produção	C. caminhão (m ³)	C. concha (m ³)	Tciclo Escavad.	Nº Caminh.	Tempo de espera
1	3000	17,000,000	41.90	6.50	0.48	22.01	0.03
2	3300	15,995,165	41.90	6.50	0.48	22.22	0.68
3	3600	16,351,512	41.90	6.50	0.48	24.25	0.77
4	3900	17,018,004	41.90	6.50	0.48	26.84	2.60
5	4200	15,974,988	41.90	6.50	0.48	26.70	2.17
6	4500	16,974,957	41.90	6.50	0.48	29.97	3.00
7	4800	15,638,794	41.90	6.50	0.48	29.08	0.25
8	5100	16,926,489	41.90	6.50	0.48	33.07	0.22
9	5400	17,102,446	41.90	6.50	0.48	35.02	0.06
10	5700	17,098,503	41.90	6.50	0.48	36.63	1.95
11	6000	16,131,324	41.90	6.50	0.48	36.07	0.22
12	6300	16,933,389	41.90	6.50	0.48	39.46	1.42
13	6600	16,919,402	41.90	6.50	0.48	41.02	0.06
14	6900	16,878,646	41.90	6.50	0.48	42.50	1.55
15	7200	16,113,280	41.90	6.50	0.48	42.09	0.28
16	7500	15,929,415	41.90	6.50	0.48	43.11	0.34
17	7800	16,950,442	41.90	6.50	0.48	47.47	1.45
18	8100	16,966,450	41.90	6.50	0.48	49.11	0.34
19	8400	16,881,061	41.90	6.50	0.48	50.45	1.39
20	8700	15,960,683	41.90	6.50	0.48	49.21	0.65

Tabela 21: Tempo de espera de carregamento dos caminhões de grande porte

Ano	DMT (m)	Produção (t/ano)	C. caminhão (m³)	C. concha (m³)	Tciclo Escavad.	Nº Caminh.		Tempo de espera (min)
1	3000	17,000,000	91.00	17.46	0.52	8.98	9	2.66
2	3300	15,995,165	91.00	17.46	0.52	9.10	9	0.27
3	3600	16,351,512	91.00	17.46	0.52	9.96	10	2.60
4	3900	17,018,004	91.00	17.46	0.52	11.06	11	0.16
5	4200	15,974,988	91.00	17.46	0.52	11.03	11	0.08
6	4500	16,974,957	91.00	17.46	0.52	12.41	12	1.11
7	4800	15,638,794	91.00	17.46	0.52	12.07	12	0.19
8	5100	16,926,489	91.00	17.46	0.52	13.75	14	2.03
9	5400	17,102,446	91.00	17.46	0.52	14.59	15	1.60
10	5700	17,098,503	91.00	17.46	0.52	15.28	15	0.76
11	6000	16,131,324	91.00	17.46	0.52	15.07	15	0.19
12	6300	16,933,389	91.00	17.46	0.52	16.51	17	1.38
13	6600	16,919,402	91.00	17.46	0.52	17.18	17	0.49
14	6900	16,878,646	91.00	17.46	0.52	17.83	18	2.25
15	7200	16,113,280	91.00	17.46	0.52	17.68	18	1.84
16	7500	15,929,415	91.00	17.46	0.52	18.12	18	0.33
17	7800	16,950,442	91.00	17.46	0.52	19.97	20	2.63
18	8100	16,966,450	91.00	17.46	0.52	20.68	21	1.84
19	8400	16,881,061	91.00	17.46	0.52	21.26	21	0.70
20	8700	15,960,683	91.00	17.46	0.52	20.75	21	2.03