

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

FELIPE NAKO MOREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE TRANSPORTE E
CARREGAMENTO PARA AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE UMA
MINA EM EXPANSÃO**

**OURO PRETO - MG
2018**

FELIPE NAKO MOREIRA
felipenakomoreira@gmail.com

**DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE TRANSPORTE E
CARREGAMENTO PARA AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE UMA
MINA EM EXPANSÃO**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia de Minas
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro de Minas.

Professor orientador: MSc. Flávia Gomes Pinto

OURO PRETO – MG
2018

M838d Moreira, Felipe Nako.
 Dimensionamento de frota de transporte e carregamento para as operações
 unitárias de uma mina em expansão [manuscrito] / Felipe Nako Moreira. -
 2018.

 60f.: il.: color.

 Orientadora: Prof^a. MSc^a. Flavia Gomes Pinto.

 Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
 Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

 1. Minas e mineração - Transporte. 2. Lavra de minas. I. Pinto, Flavia
 Gomes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.6



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

Aos 27 dias do mês de abril de 2018, às 14h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa da monografia de final de curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, pelo aluno **Felipe Nako Moreira**, intitulado: **“DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE TRANSPORTE E CARREGAMENTO PARA AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE UMA MINA EM EXPANSÃO”**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. M.Sc. Flávia Gomes Pinto** (orientadora), **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima** e **Eng.º de Minas Oswaldo Augusto Abreu Queiroz**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela aprovação do candidato, com a nota 10, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 27 de abril de 2018.

Prof. M.Sc. Flávia Gomes Pinto
Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Membro da Comissão Avaliadora

Eng.º de Minas Oswaldo Augusto Abreu Queiroz
Membro da Comissão Avaliadora

Felipe Nako Moreira

Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela disciplina Min 491 - Trabalho de Conclusão de Curso

AGRADECIMENTO

Dedico esse trabalho a minha família, em especial minha mãe e meus avós por todo o amor e apoio sempre presente em minha vida

A Camila pelo companheirismo, carinho e pelos conselhos

A minha orientadora Flávia Gomes Pinto, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho, para a minha formação na Ferro+ e pelo ambiente de trabalho saudável, especialmente Alexandre Flausino, Rodrigo Pinto, Samuel Diamantino, Reinaldo Fonseca e Geraldo Parreira.

Aos professores do curso de Engenharia de Minas por suas importantes contribuições para minha formação.

A UFOP pelo ensino de qualidade proporcionado.

A República Pulgatório por ter sido meu lar durante a graduação e por todo crescimento proporcionado.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho

“A natureza é professora do homem. Ela revela-lhe os seus tesouros perante a pesquisa, desvenda-lhe a vista e purifica o seu coração; uma influência que transpira em todas as visões e sons da sua existência. ”

Alfred Bernhard Nobel.

RESUMO

Um dimensionamento de frota de equipamentos preciso, é essencial para economicidade e viabilidade do empreendimento, pois os custos envolvidos na aquisição das máquinas representam uma parcela considerável dos custos totais da mina. Este dimensionamento afetará diretamente as operações de carregamento e transporte que são de suma importância nas etapas do processo de lavra de minas. A crescente competição na indústria de mineração vem exigindo das mineradoras a constante busca por aumento de produtividade e redução de custos operacionais, impondo a necessidade de desenvolver um bom planejamento e gerenciamento em todas as etapas do processo. O estudo foi desenvolvido a partir de uma mineração de ferro a céu aberto, com dados extraídos do sistema de despacho SmartMine, analisando conceitos e métodos que devem ser considerados na seleção e dimensionamento de equipamentos, e para fins demonstrativos, foi feito um dimensionamento de frota de carregamento e transporte utilizando indicadores de produção, juntamente com a análise dos custos totais e unitários com a variação do tamanho da frota e o volume de produção devido a expansão da área da mina. Foi realizado um estudo de caso com o objetivo de verificar a viabilidade de mudar a capacidade do caminhão utilizado na mina em questão. Os métodos utilizados neste estudo para a realização do dimensionamento dos equipamentos e dos custos operacionais podem ser empregados para qualquer tipo de mineração a céu aberto, independente do seu porte e volume de produção, bastando modificar os valores que variam de mina para mina. No final deste trabalho, foi possível concluir que a quantidade de equipamentos deve ser um equilíbrio entre produção e custos, desse modo, a frota ótima, é a que possui a melhor relação custo–produção.

Palavras-chave: Dimensionamento de frota, escavadeiras, caminhões, produtividade e custos.

ABSTRACT

Accurate equipment fleet sizing is essential for cost-effectiveness and feasibility, as the costs involved in acquiring the machinery represent a considerable portion of the total costs of the mine. This sizing will directly affect the loading and transport operations that are of paramount importance in the steps of the mine-clearing process. The growing competition in the mining industry has been demanding from miners the constant search for productivity increase and reduction of operational costs, imposing the need to develop good planning and management in all stages of the process. The study was developed from an open iron mining, with data extracted from the SmartMine dispatch system, analyzing concepts and methods that should be considered in the selection and sizing of equipment, and for demonstrative purposes, a fleet dimensioning was done loading and transportation using production indicators together with the analysis of total and unit costs with the variation of fleet size and volume of production due to expansion of the mine area. It was carried out a case study with the objective of verifying the feasibility of changing the capacity of the truck used in the mine in question. The methods used in this study to perform equipment sizing and operational costs can be used for any type of open pit mining, regardless of its size and production volume, simply by changing the values that vary from mine to mine. At the end of this work, it was possible to conclude that the quantity of equipment should be a balance between production and costs, thus, the optimal fleet, is the one with the best cost-production ratio.

Key-words: *Sizing, Excavators, Trucks, Productivity and costs.*

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CAT - Caterpillar

DMT - Distância Média de Transporte

REM - Relação Estéril-Minério

ROM - Run of Mine – Movimentação da Mina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Mina Objeto do Estudo.....	1
1.2	Considerações preliminares	2
1.3	Relevância do trabalho	3
1.4	Objetivos.....	3
1.5	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto	5
2.2	Equipamentos de carregamento em lavra a céu aberto.....	5
2.2.1	Escavadeira.....	5
2.2.2	Carregadeira.....	7
2.3	Produtividade dos Equipamentos de Carregamento	8
2.4	Parâmetros Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos	9
2.4.1	Produção	10
2.4.2	Taxa de produção.....	10
2.4.3	Volume da caçamba ou concha (Vc).....	10
2.4.4	Fator de Enchimento da Caçamba (QU).....	10
2.4.5	Empolamento (E).....	11
2.4.6	Carga de Tombamento.....	11
2.4.7	Fator de Disponibilidade do Equipamento	11
2.4.8	Fator de Utilização do Equipamento	12
2.4.9	Eficiência de operação (E).....	13
2.4.10	Tempo de Ciclo da Escavadeira	14
2.5	Equipamentos de Transporte	14
2.5.1	Transporte por Caminhões.....	14
2.5.2	Vantagens e desvantagens da mineração com transporte por caminhões	16
2.5.3	Capacidade dos Caminhões	17
2.5.4	Tempo de ciclo dos caminhões.....	19
2.5.5	Resistência ao Rolamento.....	20
2.5.6	Resistência de Rampa.....	21
2.6	Operação Conjugada.....	22
2.7	Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte..	22
2.7.1	Seleção de Equipamentos de Carregamento e de Transporte.....	23

2.7.2	Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte.....	23
2.8	Substituição de Equipamentos.....	26
3	DESENVOLVIMENTO.....	28
3.1	Descrição do caso	28
3.2	Estudo de viabilidade de unidades de transporte.....	30
3.3	Sistema de despacho: SmartMine.....	32
3.4	Sistema de carregamento e transporte	34
3.5	Dimensionamento da frota por indicadores de produção	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	Influência do dimensionamento de frota nos custos unitários.....	44
5	CONCLUSÃO.....	48
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 Mina Objeto do Estudo

A mina estudada está localizada na Fazenda do Pires Miguel Burnier, no município de Ouro Preto em Minas Gerais. A empresa responsável pela lavra é a Ferro+ Mineração, a mina em questão é considerada de pequeno porte, com capacidade produtiva de 2.5 Mt/ano, com alto padrão de qualidade. O minério de ferro da mina tem comprovada diferenciação pelo seu elevado teor de Fe em grande parte da área licenciada, além da facilidade de extração. Isto é facilmente justificado pela localização geográfica da empresa, parte integrante da região do quadrilátero ferrífero, mais precisamente no supergrupo Itabira, característico pelas reservas de minério de ferro, localmente denominados itabiritos e academicamente conhecidos como banded Iron Formation (BIF's).

Com a descrita formação geológica, o minério de ferro produzido pela Ferro+ é referência na região, seguindo altos padrões de produção e controle de qualidade.

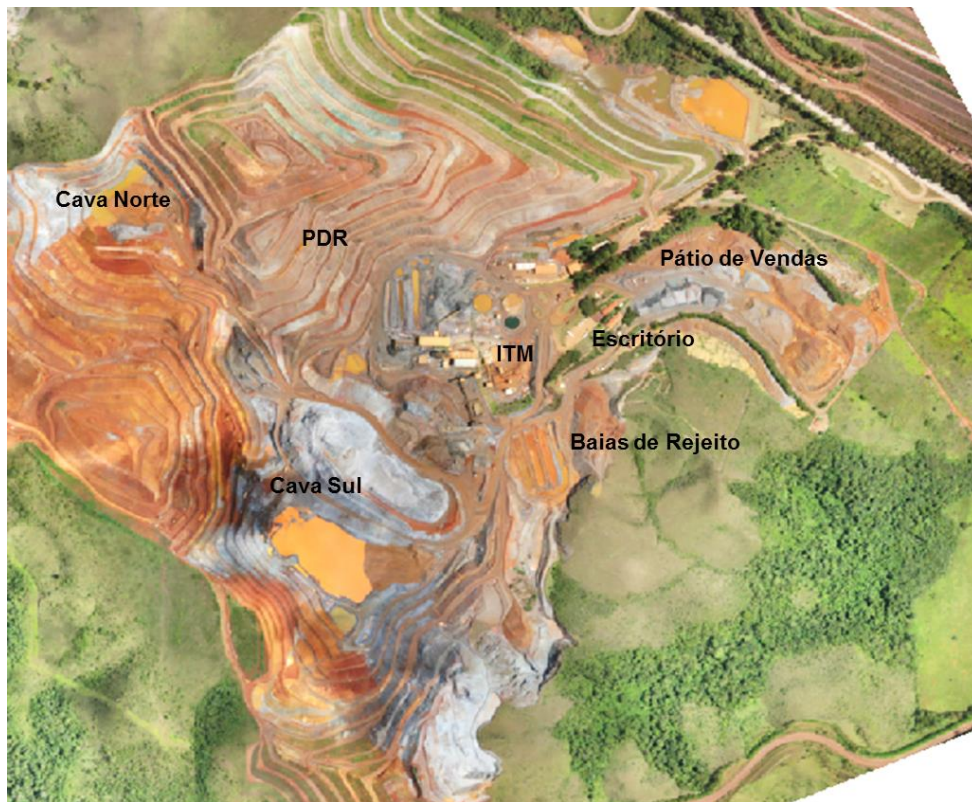
Os produtos comercializados pela empresa são o granulado, sinter feed e pellet feed, sendo este último o grande foco atual da empresa devido à maior demanda do mercado. Todos os produtos gerados seguem um acompanhamento rígido de controle de qualidade pelo setor de logística de forma a continuar atendendo de forma satisfatória os mercados alvos. A figura ilustra a localização geográfica da empresa e a figura 1.2 apresenta uma vista área da região.

Figura 1.1: Localização geográfica da Ferro+



Fonte: Ferro+ (2017)

Figura 1.2: Apresenta uma vista aérea da região da mina.



Fonte: Ferro+ (2017)

1.2 Considerações preliminares

Novas tecnologias e equipamentos são frequentemente desenvolvidos para a indústria de mineração, buscando o aumento da produtividade e redução de custos. O desenvolvimento dessas novas tecnologias propiciou e estimulou a criação de diversos *softwares* que são utilizados para auxiliar as tomadas de decisões na rotina dos trabalhos de dimensionamento e alocação de equipamentos, melhorando o desempenho dos processos na mineração mundial.

Segundo Silva (2009) o dimensionamento de equipamentos de lavra é o processo em que serão selecionados os equipamentos de escavação, carga e transporte dentro de uma mina segundo um método previamente estabelecido, sendo necessário a compatibilidade entre os equipamentos de carga e transporte para otimizar a produção da mina. Essa etapa deve atender aos objetivos de curto, médio e longo prazo, porém diversos aspectos devem ser considerados e avaliados, entre os quais, capacidade manuseada, distância de transporte, topografia do

terreno, infraestrutura disponível na região, interferências com o meio ambiente e economicidade. Em função dessas restrições e condicionantes, é necessário que seja feito um estudo periodicamente do dimensionamento de frota.

Segundo Borges (2013) um dos métodos mais utilizados de dimensionamento é a estimativa da capacidade de produção através dos indicadores de produção específicos. Dessa forma será determinado um volume de produção e a frota que será necessária para cumprir esta meta. Atualmente *softwares* como o Talpac podem ser utilizados para comparar diferentes cenários mudando as rotas possíveis, a capacidade dos equipamentos, com o intuito de maximizar a produção e diminuir os custos.

Em minas a céu aberto, onde não foi feito um estudo de dimensionamento adequado, relacionando o porte da operação e tamanho de equipamentos de mineração, haverá uma falta de compatibilidade, o que pode gerar desperdícios, perda de produtividade e conseqüentemente aumento de custos operacionais.

1.3 Relevância do trabalho

Os altos custos relacionados diretamente ao dimensionamento de frota de equipamentos como: aquisição de equipamentos, diesel, pneu e manutenção. Faz com que seja imprescindível um estudo preciso no dimensionamento dos equipamentos, pois pequenos erros podem levar a empresa a super ou subestimar os equipamentos necessários, um superdimensionamento pode levar a um aumento nos custos e na situação de subdimensionamento diminuição de produtividade de acordo com KOPPE (2007)

1.4 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um dimensionamento de frota ótima de equipamentos de carga e transporte para uma mineração a céu aberto com base nos indicadores de produção e análise dos custos, considerando o aumento da área de extração do minério. Juntamente com um estudo de viabilidade de aumentar a capacidade e o número dos equipamentos de carga e transporte.

Para que o objetivo geral seja alcançado, traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

- Determinar o número de unidades de transporte necessário para operar com uma unidade de carga e para um determinado ciclo;
- Determinar número de unidades de transporte que deverão ser adicionados ou retirados do sistema se as distâncias variarem;
- Calcular o tempo de viagem dos caminhões para permitir análises comparativas;
- Estimar a produtividade das frotas;
- Analisar os equipamentos de carregamento para otimização de tamanhos de caçamba das carregadeiras, capacidade e número de passes para os caminhões.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto por 5 capítulos:

- O primeiro capítulo é uma introdução ao trabalho, apresentando a relevância e os objetivos do estudo.
- O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com conceitos básicos sobre seleção e dimensionamento de frota de equipamentos.
- O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho, é apresentado o dimensionamento de equipamentos de escavação e de transporte utilizando um estudo de caso prático.
- O capítulo 4 discorre sobre a análise dos resultados e comparação dos equipamentos dimensionados no presente estudo.
- As conclusões do trabalho são apresentadas no capítulo 5. As referências bibliográficas constam no capítulo seguinte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dimensionamento de frota depende essencialmente de parâmetros de produtividade dos equipamentos e volume de produção. Neste capítulo serão apresentadas considerações para a seleção, dimensionamento e compatibilização dos equipamentos embasados na literatura atual sobre o assunto.

2.1 Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto

É o processo de escavação, carregamento e o transporte para pontos de descarga. Em minas a céu aberto o primeiro passo é a preparação da área onde irá ser feita a lavra. Em seguida a escavação e o carregamento serão feitos pelo equipamento de carga, o mesmo irá carregar nos equipamentos de transporte. O equipamento de transporte levará o material até determinado ponto de descarga.

2.2 Equipamentos de carregamento em lavra a céu aberto

As operações de escavação e carregamento podem ser feitas pela mesma máquina ou máquinas distintas. Os equipamentos mais frequentes na mineração para as operações de escavação e carregamento são escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira e motoscrapers. (BORGES, 2013). Em países que possuem grandes minas como Canadá e Austrália, há uma grande tendência a utilizar equipamentos de maior porte, prevalecendo o uso da escavadeira a cabo. Já no Brasil a escavadeira mais utilizada é do tipo shovel, esta escavadeira é adequada para o uso em taludes pelo seu elevado alcance máximo para o corte (RICARDO e CATALANI, 2007).

2.2.1 Escavadeira

As escavadeiras com frequência podem ser montadas sobre esteiras, sobre trilhos e sobre rodas, mas a escavadeira mais usual é a montada sobre esteiras. A escavadeira trabalha estacionada, realizando o corte e enchimento da sua caçamba sem se deslocar, desse modo o deslocamento não faz parte de seu ciclo. O deslocamento da escavadeira é somente aconselhável em curtas distancias, pois sua velocidade de deslocamento é muito baixa atrasando

a produção, em distancias mais longas é recomendado o transporte por carreta (RICARDO e CATALANI, 2007)

2.2.1.1 Tipos de escavadeiras:

Shovel: É a escavadeira com caçamba frontal, equipada com implemento frontal constituído de lança e braço transversal articulado, tendo na extremidade caçamba com fundo móvel para descarga do material. É o tipo mais utilizado em mineração. Destina-se escavar taludes situados acima do nível em que a máquina se encontra. Pela combinação do movimento da lança e do braço articulado, escava de baixo para cima elevando a carga, deslocando-a no sentido horizontal e efetuando a sua descarga. (GONÇALVES, Elessandro et al...).

Vantagens da utilização da escavadeira Shovel a cabo:

- Custo baixo por tonelada
- Robustez elevada
- Vida útil longa
- Trabalha com segurança em bancadas altas

Vantagens da utilização da escavadeira Shovel hidráulica

- Grande alcance
- Ciclos rápidos
- Vida útil longa

Figura 2.1: Escavadeira Hidráulica Shovel



Fonte: Caterpillar (2018)

Retroescavadeiras: A escavadeira com caçamba invertida, é equipada com implemento frontal, constituído de lança segmentada e um braço articulado em sua extremidade livre que sustenta a caçamba. (GONÇALVES, Elessandro et al...).

Vantagens da utilização das retroescavadeiras:

- Ciclos rápidos
- Grande flexibilidade no carregamento
- Precisão de corte
- Trabalha em solos de sustentação baixa

Figura 2.2: Retroescavadeira Liebherr 954



Fonte: Liebherr (2018)

2.2.2 Carregadeira

As carregadeiras mais usuais são as com caçamba frontal, a qual é acionada através de um sistema de braços articulados, instaladas na parte dianteira do equipamento. A carregadeira executa diversos serviços como: serviços de escavação, transporte, descarga de material em veículos de transporte, limpeza de praça e nivelamentos. É um equipamento que tem deslocamento intenso durante seu trabalho, já que para o carregamento das unidades de

transporte, as carregadeiras é que se deslocam, movimentando-se entre o talude e o veículo. (RICARDO e CATALANI, 2007)

As carregadeiras montadas sobre pneus possuem certas vantagens sobre as carregadeiras montadas sobre esteiras, principalmente em relação a sua velocidade de deslocamento, resultando em grande mobilidade. Contudo, a tração sobre pneus revela-se deficiente e apresenta dificuldades na fase de escavação, sendo sua capacidade de suporte mais baixa que as carregadeiras sobre esteiras. (RICARDO e CATALANI, 2007)

Vantagens do uso das carregadeiras:

- Fator de enchimento da caçamba alto;
- Ciclos rápidos;
- Mobilidade alta;
- Útil na operação de *blendagem*;
- Raio de giro pequeno, permitindo manobras em locais de dimensões reduzidas;

Figura 2.3: Pá-carregadeira



Fonte: Caterpillar (2018)

2.3 Produtividade dos Equipamentos de Carregamento

Segundo SILVA (2009), para maximizar a produtividade dos equipamentos de carga e transporte, na mineração a céu aberto, é necessário que o projeto da mina e o planejamento de lavra sejam compatíveis com a jazida e que os equipamentos selecionados estejam ajustados às

demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. Ainda de acordo com Silva (2009) para determinar o número de equipamentos e a produtividade é preciso avaliar os 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, deixando uma faixa equivalente 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.

2.4 Parâmetros Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos

Para a escolha do porte dos equipamentos de carga e a quantidade necessária para suprir a demanda de produção, isto é, a extração do material e carregamento, os cálculos de estimativa de produtividade são imprescindíveis e devem levar em consideração os seguintes parâmetros:

2.4.1 Produção

É o volume total ou massa do material (estéril e minério) que será movimentado na operação da mina (HARTMAN, 1992).

2.4.2 Taxa de produção

Produção teórica de massa ou volume de um equipamento por unidade de tempo; (RICHARDS e WEST, 2003)

2.4.3 Volume da caçamba ou concha (V_c)

Representa a capacidade operacional, rasa ou coroadada, essa capacidade pode ser calculada pela equação 1:

$$V_c = \frac{\text{(carga máxima admissível na caçamba ou concha)}}{\text{(peso específico do material solto)}} \quad (1)$$

2.4.4 Fator de Enchimento da Caçamba (QU)

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, demonstrado na equação 2

$$Q_u = V_c \times F_{EB} \quad (2)$$

Onde:

V_c = Volume da caçamba F_{EB}

F_{EB} = é o fator de enchimento da caçamba

2.4.5 Empolamento (E)

É o aumento do volume aparente de um material que ocorre quando é fragmentado e removido de seu estado natural, de maior compactação, para um estado mais fragmentado. Pode ser expresso pela equação 3:

$$\text{empolamento} = \frac{\text{volume antes da fragmentação}}{\text{volume depois da fragmentação}} \times 100\% \quad (3)$$

2.4.6 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.

2.4.7 Fator de Disponibilidade do Equipamento

Vários fatores reduziram a disponibilidade dos equipamentos tais como:

- Manutenção corretiva
- Manutenção preventiva
- Operação em vários turnos
- Má organização da mina
- Esperas

A disponibilidade é dividida em:

- Disponibilidade Mecânica calculada pela equação 4:

$$DM = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100\% \quad (4)$$

DM = disponibilidade mecânica;

HT = corresponde às horas teóricas possíveis no período, por exemplo, por ano.

MP = 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 = manutenção corretiva. Significa o serviço executado no equipamento com a finalidade de corrigir deficiências que possam acarretar a sua paralisação;

TP = tempo perdido correspondente à locomoção da máquina por motivos de desmonte de rocha ou outros intervalos do operador (almoço, café, troca de turno, entre outros)

• Disponibilidade Física que corresponde à parcela das horas programadas em que o equipamento está apto para operar, isto é, não está à em manutenção, demonstrado na equação 5.

$$DF = \frac{HP-HM}{HP} \times 100\% \quad (5)$$

Onde:

DF = 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.

2.4.8 Fator de Utilização do Equipamento

A utilização é aplicada sobre as horas disponíveis do equipamento, e é definida como o tempo que o equipamento está trabalhando. Os seguintes fatores reduzem a utilização do equipamento:

- Número de unidades ou porte maior ou menor do que o requerido;
- Falta de operador;
- Inexperiência do operador;

- Impedimento operacional por tempo climático desfavorável
- Qualidade do desmonte de rocha;
- Preparação das frentes de lavra

O fator de utilização é calculado pela equação 6:

$$UF = \frac{HT}{HP-HM} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

HT = total de horas efetivamente trabalhadas;

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.

2.4.9 Eficiência de operação (E)

É de suma importância que a produção seja mantida em um ritmo constante. A eficiência de trabalho que maximizara os lucros da empresa. Os seguintes fatores irão diminuir a eficiência da operação:

- 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

Pequenas interrupções devido aos defeitos mecânicos, não computados na manutenção, demonstrado na equação 7.

$$E = \frac{TC_{min}}{TC_{ef}} = \frac{TC_{min}}{TC_{min} + \sum Tp} = \frac{1}{1 + \frac{\sum Tp}{TC_{min}}} \quad (7)$$

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

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

onde:

TC_{min} = tempo de ciclo mínimo;

TC_{ef} = tempo de ciclo efetivo;

T_p = tempo perdido.

2.4.10 Tempo de Ciclo da Escavadeira

É o tempo que o equipamento gasta para realizar um ciclo da sua atividade, para uma escavadeira, o tempo de ciclo de carregamento consiste em tempo de carregamento (TC), tempo de rotação com caçamba carregada (TRC), tempo de descarga ou basculamento (TD) e tempo de rotação com caçamba descarregada (TRD). O ciclo só será concluído quando o equipamento já estiver posicionado para reiniciar o 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 8:

$$T_{ciclo} = T_c + T_{RD} + T_D + T_{RD} \quad (8)$$

2.5 Equipamentos de Transporte

Na mineração existem diversos métodos de transporte de material, contudo os mais utilizados são o transporte por caminhão ou por correia (BORGES, 2013).

2.5.1 Transporte por Caminhões

São utilizados na mineração quando há uma grande distância entre o local de carga e descarga. Desse modo, para grandes distâncias é recomendando utilizar equipamentos mais

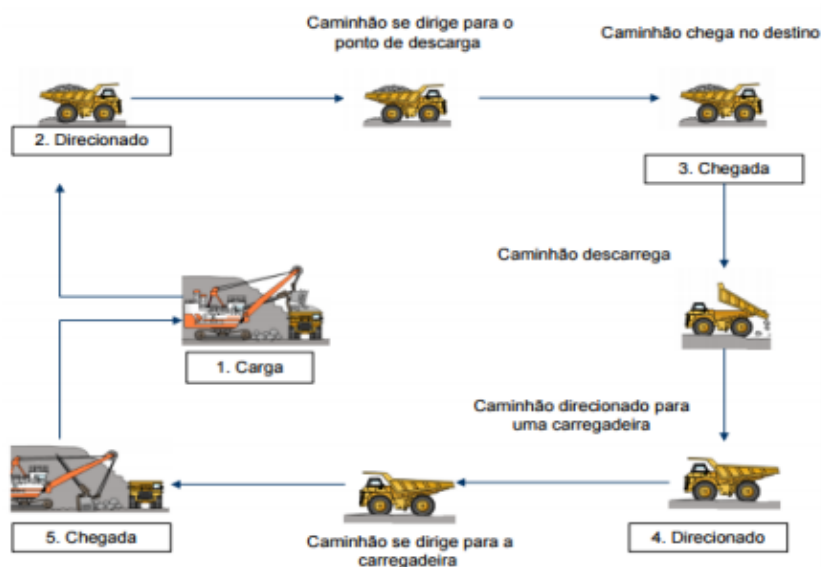
rápidos e que proporcionam alta produção, mesmo que haja a necessidade de um número elevado de unidades (RICARDO e CATALANI, 2007).

Segundo DARLING (2011), o transporte de material na mineração por caminhões é o mais utilizado atualmente. Com o aumento da tecnologia alavancou-se a capacidade de lavra das minas, as rampas começaram a ser vencidas e as cavas estão ficando cada vez mais profundas.

Segundo DARLING (2011), uma operação onde o transporte é realizado por caminhões consiste basicamente no desmonte do material “*in situ*”, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivo ou mecanicamente. Outra possibilidade, dependendo da geologia do material lavrado é a própria escavadeira ou carregadeira escavar e carregar o equipamento de transporte, no caso, caminhões. O transporte do material por caminhões até a pilha de estéril ou a estação de britagem, descarga no silo e retorno até a frente de lavra, finaliza o ciclo do método.

Nos dias de hoje o mercado oferece caminhões de diversas capacidades, variando de 10 toneladas a mais de 400 toneladas. 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 (BORGES, 2013). A Figura 2.4 apresenta as operações de Carregamento e Transporte.

Figura 2.4: Fluxo do processo carregamento e transporte.



Fonte: Quevedo (2009)

2.5.2 Vantagens e desvantagens da mineração com transporte por caminhões

Segundo LOPES (2010), as vantagens de utilizar caminhões como meio de transporte na mineração:

- Grande flexibilidade operacional principalmente em casos que 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;
- Pequena variação nos teores médios do depósito devido à possibilidade de verticalização da mina;
- Abundante mão-de-obra no mercado de trabalho, pois é o método mais utilizado nas minerações à céu aberto;
- Facilidade na montagem. Os caminhões são pré-montados na fábrica por partes e transportados, bastando montar o conjunto total no local da obra;
- 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 britador estiver paralisado, construindo pilhas de estoque próximas às estações de britagem, para retomada posterior;
- 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;
- Facilidade e rapidez 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 longas devido à limitação de inclinação das rampas, aumentando a DMT gradativamente à medida que novos níveis de operação são abertos na mina. Recomenda-se o máximo de 10% de inclinação das rampas;
- Redução e às vezes paralisação das operações devido a condições climáticas desfavoráveis que causam instabilidade de tração e baixa visibilidade;
- Necessidade de equipamento de apoio, caminhão pipa por exemplo, para umectação 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 pode implicar 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.

2.5.3 Capacidade dos Caminhões

Segundo GREGORY (2000), as capacidades dos caminhões são divididas em três formas: capacidade mássica, capacidade volumétrica nominal que é a capacidade média considerando as extremidades da caçamba do caminhão e capacidade volumétrica coroada que é baseado em um empilhamento de inclinação 2:1 acima da borda da caçamba, onde está depende do tipo de material e seu respectivo ângulo de repouso.

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

Figura 2.5: Caminhão Scania



Fonte: Disponível em: <https://www.caminhoes-e-carretas.com/2013/09/>

Os caminhões articulados operam em condições de terrenos e aplicações mais exigentes na mineração

Figura 2.6: Caminhão articulado



Fonte: Caterpillar (2018)

Os caminhões fora-de-estrada são veículos construídos e dimensionados especialmente para serviços pesados de mineração ou construção.

Figura 2.7: Fora-de-estrada



Fonte: Caterpillar (2018)

2.5.4 Tempo de ciclo dos caminhões

Segundo Racia (2016) o tempo de ciclo de trabalho dos equipamentos de transporte 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:

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

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:

$$T_{TC} = T_{\text{passe da escavadeira}} \times \text{número de passes} \quad (10)$$

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

Onde:

$V_{\text{caminhão}}$ = volume da caçamba do caminhão

V_{concha} = volume da concha da escavadeira

$$t = \frac{d}{V_m} \quad (12)$$

Onde:

t = tempo de transporte

d = distância do ponto de carregamento ao ponto de descarga

V_m = velocidade média do caminhão

2.5.5 Resistência ao Rolamento

Segundo JAWORSKI (1997) é a força que será necessária para superar o atrito interno dos rolamentos e para superar o efeito de retardamento entre os pneus e o solo. Isto é acontece quando o pneu do caminhão afunda no material de revestimento da estrada. O que significa 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 dos acessos é muito importante para garantir a velocidade de transporte, além de reduzir os custos de desgaste com pneus. A resistência ao rolamento é calculada pelas equações 13 e 14:

$$Rr = K \times PBV \quad (13)$$

$$K = 20 + 6 a \quad (14)$$

Onde:

Rr = resistência ao rolamento;

PBV = Peso bruto do veículo (kgf);

K = coeficiente de rolamento (kgf/t);

a = afundamento (cm)

2.5.6 Resistência de Rampa

Segundo SILVA (2009) é a força paralela ao terreno que se opõe a locomoção dos veículos e equipamentos nos aclives, é necessário superar essa força para movimentar a máquina em rampas com *grades* altos, já em declives, a favor da força da gravidade, a rampa ajuda na movimentação do equipamento.

Ainda segunda SILVA (2009) essa resistência deve ser considerada para os equipamentos de rodas e de esteiras. Nos declives essa força se soma a força de tração e é denominada de assistência de rampa

A resistência de rampa pode ser designada pela sigla RRa. O Fator de Resistência de Rampa (FRR) é expresso em kgf/t pela equação 15

$$FRR = Kgf \% \text{ de rampa} \quad (15)$$

Com a equação 16 obtém-se a resistência a rampa

$$RR = FRR \times PBV \quad (16)$$

Onde:

RR= resistência a rampa

FRR= fator de resistência de Rampa

PBV= massa da máquina em toneladas

2.6 Operação Conjugada

Segundo SILVA (2009) a operação conjugada permite a maximização da produção entre os equipamentos de carga, transporte e britagem. É aplicada a distribuição binomial ao cálculo de dimensionamento de frota, demonstrada pela equação 17.

$$P_n = P_{ed} \times P_{ned} \times C_r^n \quad (17)$$

Onde:

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;

C_r^n = é a combinação de itens tomados, sendo r em um dado tempo.

2.7 Seleção e Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte

2.7.1 Seleção de Equipamentos de Carregamento e de Transporte

Segundo BORGES (2013) apud SRAJER et al (1989), foi revelado que na maior parte dos casos prevalece o dimensionamento de equipamentos de transporte em detrimento de equipamentos de carga. Levando em consideração os seguintes itens:

- Compatibilidade com equipamento de carga existente;
- Capacidade de atender a produção planejada;
- Experiência anterior com o equipamento;
- Requisitos de serviço e manutenção;
- Custo de aquisição e custo operacional;
- Utilização e disponibilidade estimadas.

De acordo com ERIC (2006), para tomada de decisão no dimensionamento de uma frota deve-se levar em conta os seguintes critérios:

- 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.

2.7.2 Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e de Transporte

Segundo SILVA (2009), após a seleção dos tipos de equipamento que irão atender as condições específicas da operação da mina, devem ser selecionados os portes dos equipamentos, levando em consideração a maior compatibilidade entre os equipamentos que irão operar conjugadamente. As principais restrições físicas são:

- A altura da bancada (H), condicionando o porte do equipamento de carregamento;

- Pá carregadeira: $H = 5$ a 15 m;
- Escavadeira hidráulica: $H = 4 + 0,45cc$ (m);
- Escavadeira a cabo: $H = 10 + 0,57(cc - 6)$ (m). Sendo $cc =$ capacidade da concha em m^3
- A largura da caçamba da carregadeira/ escavadeira deve ser proporcional ao comprimento da caçamba do caminhão
- O alcance da descarga do equipamento de carregamento, condicionando o porte do equipamento de transporte.

Vale ressaltar alguns fatores que colaboram na compatibilidade entre os equipamentos de carga e transporte (SILVA, 2009):

- Um número de passes do equipamento de carregamento para encher o equipamento de transporte esteja entre 3 a 5 passes, representando um bom equilíbrio. Vale ressaltar que a caçamba do caminhão deve ser completada com passadas cheias.
- Habilidade e experiência do operador
- O ângulo de posicionamento do caminhão em relação à carregadeira/escavadeira

O fluxograma apresentado na figura 2.8 relaciona os principais fatores para a seleção e dimensionamento dos equipamentos.

Figura 2.8: Considerações para a seleção de equipamentos e fatores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos



Fonte: Adaptado de BOZORGEBRAHIMI, HALL and BLACKWELL, 2003 – Adaptado.

A tomada de decisão no dimensionamento de equipamentos de carga e de transporte pode ser auxiliada por softwares como o TALPAC. Esse programa é um aplicativo criado pela Runge projetado para avaliar sistemas de carregamento e transporte para a indústria da mineração. Devido à sua confiabilidade o TALPAC, vem ganhando mercado na indústria de mineração, 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 principais funções do TALPAC são:

- Cálculo do tempo de viagem dos caminhões para uma análise comparativa de outras alternativas de rotas.
- Estimativa das produtividades da frota que serão utilizadas 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.
- Estimativa de consumo de combustível.
- Otimização do dimensionamento de frota para quantificar o efeito do excesso ou falta de caminhões.
- Otimização de tamanhos de caçamba das carregadeiras, capacidade e número de passes para os caminhões.
- Comparar resultados a partir de cálculos com o intuito de examinar a relação entre variáveis no cálculo, por exemplo, de distância do transporte versus produtividade, distância versus tamanho da frota.

2.8 Substituição de Equipamentos

Segundo SOUSA Jr (2012) os estudos de substituição devem ser feitos para saber a vida útil de cada equipamento e o momento ideal em que os mesmos devem ser substituídos. Para a substituição dos equipamentos, devem-se atender os seguintes itens:

- Desgaste: mudanças físicas ocorrem com a máquina de acordo com o tempo de uso, diminuindo a eficiência, aumentando os custos de operação e manutenção;
- Obsolescência: com o avanço da tecnologia, podem aparecer equipamentos tecnicamente mais aperfeiçoados no mercado, que podem ter um melhor desempenho a um menor custo;
- Exigências do mercado: Novas exigências são feitas pelo cliente em torno de requisitos, sendo necessário da parte dos fornecedores uma adaptação para suprir a nova demanda;

- Financiamento: oportunidades de aquisição de equipamentos com ajuda das linhas de crédito, incentivos do governo, entre outros;
- Custos Irreversíveis: são custos que não podem ser resgatados, mas que possuem significância para a empresa;
- Perspectiva Externa: as mudanças de visão do mercado;
- Impostos: se referem às taxas envolvidas com a aquisição e lucro proporcionado pelo equipamento.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte utilizando como estudo de caso uma mineração de pequeno porte, retratando a situação presente das operações na mina em questão, premissas para o dimensionamento da frota e o desenvolvimento e análises de cenários de produção.

3.1 Descrição do caso

A empresa do estudo é uma mina de ferro a céu aberto de pequeno porte, a lavra é pelo método de bancada em cava. A mina em questão irá ampliar sua produção, dobrando a movimentação de estéril e minério, quando a nova licença de operação for liberada. Com o aumento da produção é necessário fazer um novo estudo de dimensionamento e um estudo de viabilidade em relação ao porte dos equipamentos, aumentando o porte das máquinas com o intuito de diminuir o custo por tonelada carregada.

As horas programadas estão relacionadas ao regime de trabalho da mineração sendo de três turnos de 8 horas, totalizando 24 horas por dia em 300 dias por ano, uma vez que a mina não opera nos domingos e feriados.

As Distâncias Médias de Transporte (DMTs), foram calculadas a partir do plano de lavra previsto para a mina.

O transporte é feito por caminhões e o desmonte é mecânico, o minério extraído é friável não sendo necessário o uso de explosivos para o desmonte. O transporte do material por caminhões é feito até a pilha de estéril ou estoque de minério sendo direcionado para a pilha correspondente ao seu teor, no total são 4 pilhas: minério de alto teor, baixo teor, canga e assoreado, em seguida o material é descarregado e o equipamento retorna até a frente de lavra ou desenvolvimento.

Os equipamentos que estão em operação na mina são: caminhões Actros 4844 com capacidade máxima de 40t, caminhões articulados Volvo A40F com capacidade máxima de 40t, escavadeiras hidráulicas: Volvo EC380 com capacidade máxima de concha de 2,3 m³, Volvo EC480 com capacidade máxima de concha de 2,8m³ e Liebherr 954SM, pá-carregadeira, trator, motoniveladora e caminhão pipa.

A geometria da cava foi projetada considerando as premissas do planejamento para diminuição da REM, bem como as características dos equipamentos de carga e transporte a ser utilizados:

- Bancos de 10 metros de altura com 7 metros de berma
- Ângulo de talude: variando de acordo com a região de 30° e 60° dependendo da resistência do maciço, utilizando 30° para o maciço menos resistente e 60° para o mais resistente
- Ângulo geral do talude: 40.34° ou 22.35° variando de acordo com a região da mina.

A restrição de área também faz se necessário utilizar rampas de maior grade, sendo necessário utilizar equipamento de transporte com maior força de tração. Para que haja uma operação segura e eficiente foram adquiridos os caminhões articulados Volvo A40F.

As operações auxiliares contam com uma escavadeira de pequeno porte CAT 320 para o retaludamento dos taludes e para fazer canaletas de escoamento de água, auxiliando na drenagem da mina.

São utilizadas motoniveladoras para a limpeza e nivelamentos dos acessos. Tratores de esteiras foram adquiridos para o desmonte mecânico, espalhamento de estéril, drenagem e limpeza de acessos. As carregadeiras são responsáveis pelo o carregamento, alimentação da planta, blendagem e limpeza de praça. E é mantido um rolo na pilha de estéril para apoio.

A tabela abaixo apresentará os dados da movimentação de estéril e minério da mina no ano citado.

Tabela 3.1: A massa movimentada no ano de 2017

Movimentação 2017			
Massa Prevista (t)	TOTAL	ROM	ESTERIL
Total	6.526.187	4.288.486	2.237.701
Mensal	543.849	357.374	186.475
Diário	21.754	14.295	7.459

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

3.2 Estudo de viabilidade de unidades de transporte

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 (SOUSA Jr, 2012).

O estudo de viabilidade será feito comparando o desempenho entre o caminhão Actros 4844 com a capacidade de carga de 40 toneladas e o caminhão Scania G480 com capacidade de carga para 48 toneladas. O caminhão que apresentar o menor custo por tonelada carregada será utilizado como referência para fazer o dimensionamento da frota de transporte e carregamento da mina.

Atualmente a frota é composta por 3 caminhões Actros 4844, sendo sua capacidade máxima de 40t. A mina em questão irá dobrar sua movimentação, porém as características geométricas da mina permanecerão as mesmas, não possibilitando o aumento do porte dos equipamentos, já que os acessos são muito estreitos. Contudo, o caminhão Scania G480 possui as mesmas dimensões que o Actros 4844, ou seja, os acessos da mina serão adequados as dimensões do caminhão Scania G480, com a vantagem de ter uma capacidade máxima de 48t.

O caminhão Scania G480 já é utilizado na empresa, mas não é alocado na mina e sim para o transporte de produto até um cliente.

A seguir alguns custos que foram considerados neste estudo de viabilidade, comparando os gastos e consumos de cada equipamento, buscando o menor custo de produção:

- Custo de mão de obra operacional: incidi nos custos com a quantidade de mão de obra necessária para operação dos equipamentos dimensionados e se necessárias equipes de apoio. Estipulados a partir de salários bases mais encargos;
- Custo de aquisição: constituído pela compra dos equipamentos, incluindo os custos de transporte até a mina, impostos e despachantes. Estes custos foram estimados com base na média de preço dos equipamentos no mercado;
- Custos de manutenção: constituído de serviços de mão de obra de manutenção, peças e subconjuntos de reposição. Estimados com base em manual do fabricante e literatura;

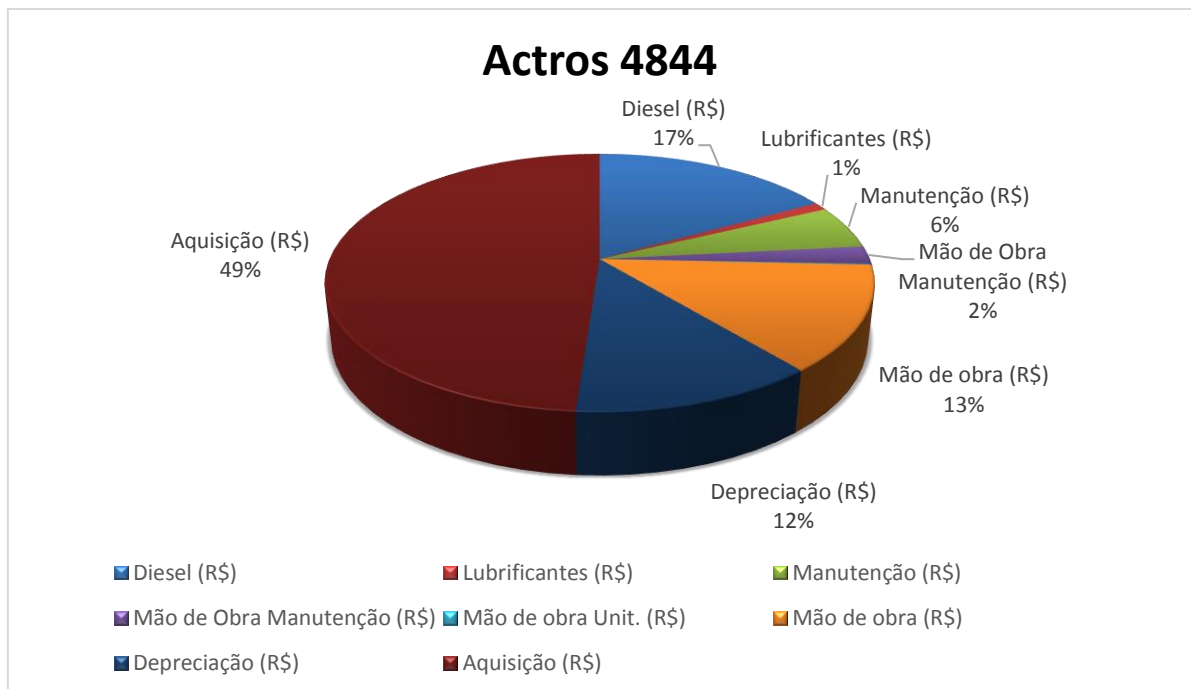
- Custos de materiais: constituídos de combustíveis, lubrificantes, graxas, filtros, pneus e parte rodante. Baseados no manual do fabricante;

- Depreciação

- Outros: constituídos das despesas com equipes de apoio.

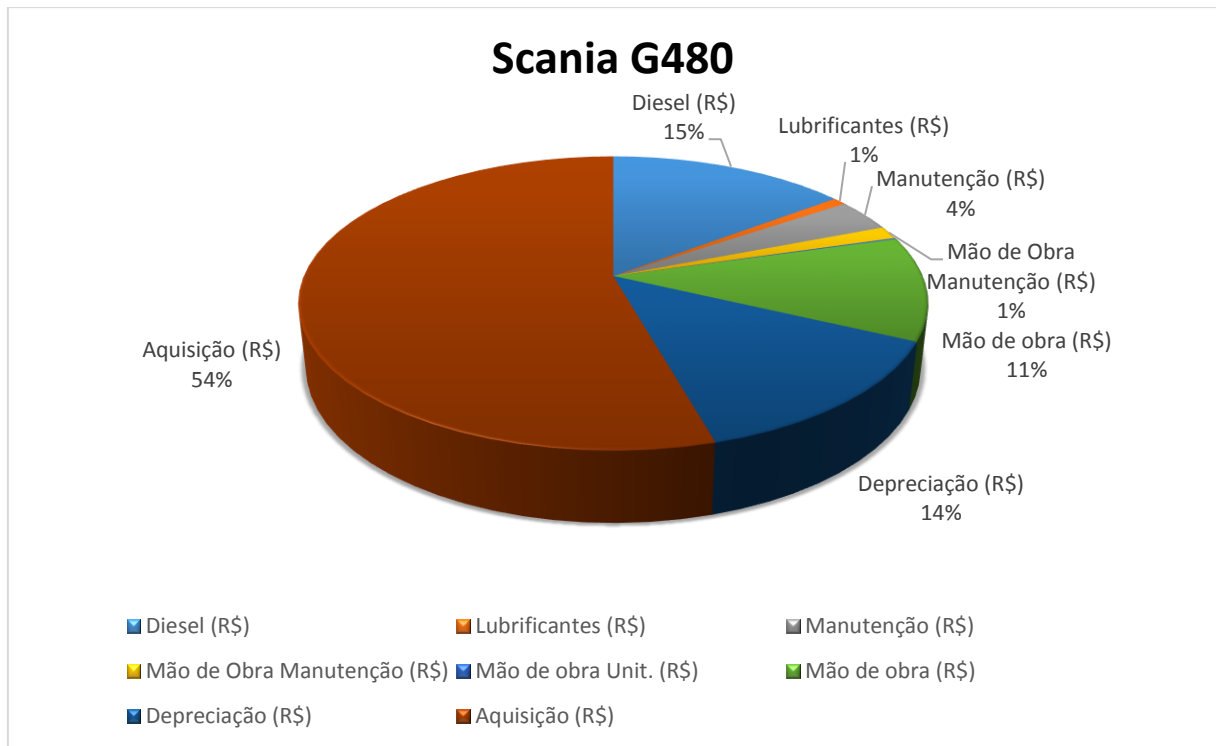
Esses custos foram estimados separadamente em um período base de 5000 horas trabalhadas no ano de 2017, considerando esse número como uma média anual de trabalho por equipamento de transporte nesta mina, dois gráficos foram feitos ilustrando a porcentagem de cada custo

Figura 3.1: Gráfico de custos Actros 4844



Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.2: Gráfico de custos Scania G480



Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

O custo estimado para o caminhão Scania foi 19% mais econômico que o caminhão Actros 4844 para o Scania G480. Através deste estudo pode-se concluir que é mais econômico a utilização do Scania G480 para a mesma quantidade transportada. Posto isto o dimensionamento de frota será feito considerando este equipamento.

3.3 Sistema de despacho: SmartMine

Neste trabalho os indicadores de produção foram extraídos do software SmartMine, que atualmente é o sistema de despacho e gerenciamento de frota de lavra da mina. Este *software* executa as seguintes tarefas em tempo real:

- Monitoramento da frota;
- Gerenciamento da frota;
- Otimização das operações;
- Controle sobre os índices operacionais da mina;

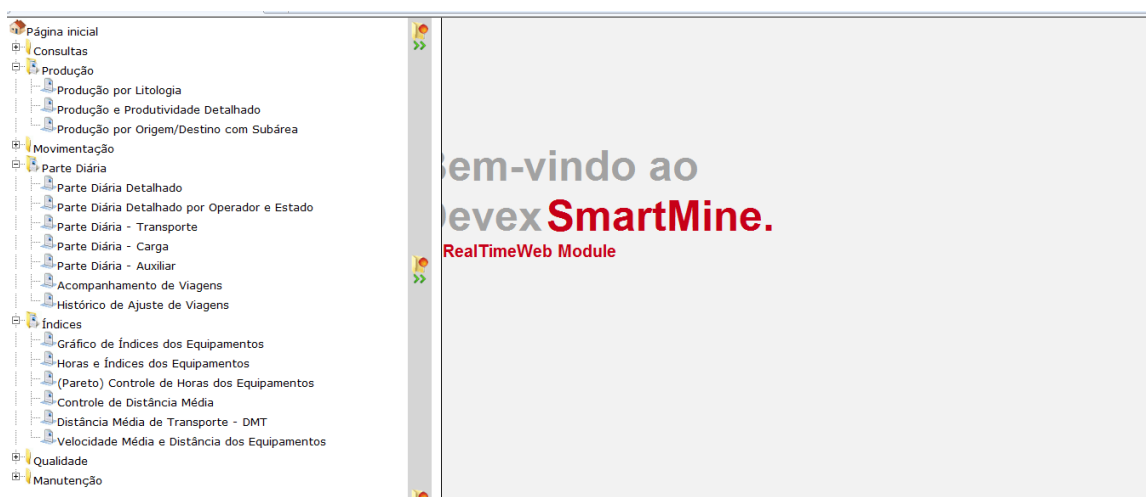
Os índices operacionais como: UF, DF, rendimento, velocidade média dos equipamentos de transporte, DMT e tempo de ciclo de equipamentos de carga e transporte foram retirados desse software. As figuras a seguir ilustram telas do sistema:

Figura 3.3: SmartMine tela inicial



Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Figura 3.4: Índices



Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Figura 3.5: Relatório de velocidade média

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Figura 3.6: Relatório de índices operacionais

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

3.4 Sistema de carregamento e transporte

Dadas as premissas para adequação do sistema de carregamento e transporte já mencionadas anteriormente, bem como quantidades de massas movimentadas ao ano, o porte das cavas, as características do minério e estéril, o sistema de carregamento e transporte é exclusivamente composto por retroescavadeiras hidráulicas, que atuam no carregamento, e caminhões que atuam no transporte

Para realizar os cálculos de estimativa de produção para as operações conjugadas de carregamento e transporte, o presente trabalho utilizará como principal ferramenta para construção e otimização de cenários os recursos do Microsoft Excel.

3.5 Dimensionamento da frota por indicadores de produção

Para o dimensionamento da frota, foi utilizado parâmetros mostrados nas tabelas a seguir, utilizando os indicadores de produção é possível estimar a produção de quaisquer equipamentos, conforme a equação 18:

$$\textit{Produção anual} = N \times E \times C \times FE \times OC \times HP \times DF \times U \quad (18)$$

Onde:

N = número de passes / ciclos por hora;

E = fator de eficiência (%);

C = capacidade da caçamba (t ou m³);

FE = fator de enchimento da caçamba;

OC = fator de operação conjugada;

HP = horas programadas por ano;

DM = disponibilidade mecânica do equipamento (%);

U = fator de utilização do equipamento.

O número de passes por hora foi calculado pela equação 19:

$$\textit{N}^{\circ} \textit{ de passes por hora} = \frac{3600}{\textit{tempo de caçambada}} \quad (19)$$

Para o ano de 2017 a operação contava com 3 unidades de carregamento e 6 unidades de transporte. Com o intuito de comparar o número de equipamentos da mina no ano citado

com o dimensionamento feito através dos índices de produção, foi coletado os seguintes parâmetros do sistema de despacho SmartMine e dos fabricantes: Volvo, Liebherr, Scania e Mercedes.

As densidades e os fatores de enchimento da caçamba do equipamento de carga, considerado nos cálculos, irão variar de acordo com o material: minério ou estéril. Os valores são ilustrados na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Densidade do material e fator de enchimento

Densidade empolada Minério (t/m³)	2,76
Fator de enchimento (minério)	0,90
Densidade empolada Estéril (t/m³)	2,17
Fator de enchimento (estéril)	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

As tabelas 3.3, 3.4 e 3.5 contêm os parâmetros que serão imputados na equação 18, para calcular a produção anual das escavadeiras volvo EC 480, volvo EC 380 e Liebherr 954. Esses valores foram extraídos do SmartMine ou do manual do fabricante do equipamento, exceto pelo número de passes por hora que é calculado pela equação 19 e as horas programadas por ano que é dado pela área do planejamento de mina.

Tabela 3.3: Produção anual da escavadeira volvo EC480

Cálculo De Produção por Ano		
Volvo EC480	ROM	Estéril
Número de passes por hora	102,00	102,00
Fator de enchimento da caçamba	0,90	1,00
Disponibilidade	0,882	0,882
Utilização	0,689	0,689
Horas programadas por ano (h)	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba (m ³)	2,80	2,80
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.4: Produção anual da escavadeira volvo EC380

Parâmetros utilizados para o calculo de produção por ano		
Volvo EC380	ROM	Estéril
Número de passes por hora	102,00	102,00
Fator de enchimento da caçamba	0,90	1,00
Disponibilidade	0,882	0,882
Utilização	0,689	0,689
Horas programadas por ano (h)	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba (m ³)	2,30	2,30
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.5: Produção anual da escavadeira Liebherr 954

Cálculo De Produção por ano		
Liebherr 954	ROM	Estéril
Número de passes por hora	102,00	102,00
Fator de enchimento da caçamba	0,90	1,00
Disponibilidade	0,900	0,900
Utilização	0,770	0,770
Horas programadas por ano (h)	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba (m ³)	3,25	3,25
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Os valores ilustrados na tabela 3.6, 3.8 foram extraídos do software SmartMine e o tempo de ciclo é calculado pela equação 9.

A tabela 3.7 e 3.9 contém os parâmetros que serão inputados na equação 18, para calcular a produção anual dos caminhões Actros 4844 e Volvo A40F. Esses valores foram extraídos do SmartMine ou do fabricante do equipamento, exceto pelo número de ciclos por hora que é calculado pela equação 9 e as horas programadas por ano que é dado pelo área do planejamento de mina.

Tabela 3.6: Tempo de ciclo actros 4844

Tempo de ciclo		
Actros 8x4	ROM	ESTERIL
DMT (km)	1,30	1,70
Velocidade Média (km/h)	20,00	18,00
Tempo de deslocamento (min)	3,90	5,67
Tempo de Carga (min)	2,00	2,33
tempo de basculamento (min)	0,90	0,90
tempo de manobra (min)	0,50	0,50
Tempo de ciclo (min)	7,30	9,40

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.7: Produção anual do caminhão actros 4844

Cálculo De Produção por ano 2017		
Actros 8x4	ROM	Estéril
Número de ciclos por hora	8,00	6,00
Fator de enchimento da caçamba	1,00	1,00
Disponibilidade	0,900	0,900
Utilização	0,786	0,786
Horas programadas por ano (h)	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba (t)	40,00	40,00
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.8: Tempo de ciclo Volvo A40F

Tempo de ciclo		
Actros 8x4	ROM	ESTERIL
DMT (km)	1,30	1,70
Velocidade Média (km/h)	20,00	18,00
Tempo de deslocamento (min)	3,90	5,67
Tempo de Carga (min)	2,00	2,33
tempo de basculamento (min)	0,90	0,90
tempo de manobra (min)	0,50	0,50
Tempo de ciclo (min)	7,30	9,40

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.9: Produção anual do caminhão articulado Volvo A40F

Cálculo De Produção por ano 2017		
Volvo A40F	ROM	Estéril
Número de ciclos por hora	8,00	6,00
Fator de enchimento da caçamba	1,00	1,00
Disponibilidade	0,910	0,910
Utilização	0,840	0,840
Horas programadas por ano	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba	40,00	40,00
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

O dimensionamento de 2019 é feito considerando o aumento da produção em 100% em relação ao ano de 2017, devido a expansão da área da mina. Deve ser levado em consideração também, o aumento da DMT em 50%.

Com a alteração do volume de produção e o aumento da DMT foi necessário um novo estudo de dimensionamento, utilizando o mesmo método de dimensionamento.

O equipamento de carga escolhido para o novo dimensionamento foi a retroescavadeira Liebherr 954, devido à sua grande compatibilidade com o porte dos caminhões Scania G480 e Volvo A40F, isto é, um bom equilíbrio no número de passes que está entre 3 a 5. E a largura da sua caçamba é proporcional ao comprimento da caçamba do caminhão.

A produção anual da escavadeira Liebherr será a mesma de 2017 por ser um equipamento novo, desse modo em um curto período de tempo, a máquina não apresentará grandes desgastes que possam piorar seus indicadores.

Os equipamentos de transporte que serão base para o dimensionamento de 2019 são: Scania G480 e Volvo A40F. O caminhão Volvo A40F foi escolhido por dois motivos: o primeiro diz respeito ao fato de o pavimento do piso do estéril não possuir preparação adequada para os caminhões com tração 8x4, de acordo com as normas regulamentadoras do Brasil (NBR) e do fabricante fornecedor dos equipamentos. O segundo fator diz respeito aos ângulos inadequados de inclinação da via. Devido a estes dois fatores, durante o período de chuva os

caminhões 8x4 poderiam derrapar se manobrados com suas capacidades de transporte levadas ao limite. Assim, estes tinham que ser operados com capacidade reduzida.

Em contrapartida, o caminhão volvo A40F pode operar no estéril, por ser um caminhão articulado ele pode operar em acessos com inclinação maior que 15° e de difícil movimentação.

O caminhão Scania G480 foi escolhido em detrimento do actros 4844, por três fatores:

- Por apresentar um menor custo por tonelada carregada
- Por possuir as mesmas dimensões físicas, que é o maior porte suportado pela mina, devido a limitação dos acessos e
- Experiência prévia: a empresa já possui uma experiência com o caminhão Scania G480 e por apresentar um bom desempenho e fácil manutenção, o mesmo foi selecionado para compor a frota.

Os valores ilustrados na tabela 3.10, 3.12 e 3.14 foram extraídos do software SmartMine, a DMT foi calculada a partir do plano de lavra previsto para a mina no ano de 2019 e o tempo de ciclo é calculado pela equação 9.

As tabelas 3.11, 3.13 e 3.15 contém os parâmetros que serão imputados equação 18, para calcular a produção anual dos caminhões Actros 4844, Volvo A40F e Scania G480. Esses valores foram extraídos do SmartMine ou do fabricante do equipamento, exceto pelo número de ciclos por hora que é calculado pela equação 9 e as horas programadas por ano que é dado pela área do planejamento de mina.

Tabela 3.10: Tempo de ciclo Actros 4844 ano de 2019

Tempo de ciclo		
Actros 8x4	ROM	ESTERIL
DMT (km)	2,00	2,40
Velocidade Média (km/h)	20,00	18,00
Tempo de deslocamento (min)	6,00	8,00
Tempo de Carga (min)	2,00	2,33
tempo de basculamento (min)	0,90	0,90
tempo de manobra (min)	0,50	0,50
Tempo de ciclo (min)	9,40	11,73

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.11: Produção anual do caminhão actros 4844 ano de 2019

Cálculo De Produção por ano 2019		
Actros 8x4	ROM	Estéril
Número de ciclos por hora	6,00	5,00
Fator de enchimento da caçamba	1,00	1,00
Disponibilidade	0,900	0,900
Utilização	0,786	0,786
Horas programadas por ano	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba	40,00	40,00
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.12: Tempo de ciclo caminhão articulado volvo A40F ano de 2019

Tempo de ciclo		
Cálculo A40	ROM	ESTERIL
DMT (km)	2,00	2,40
Velocidade Média (km/h)	20,00	16,00
Tempo de deslocamento (min)	6,00	9,00
Tempo de Carga (min)	2,00	2,33
tempo de basculamento (min)	0,56	0,56
tempo de manobra (min)	0,50	0,50
Tempo de ciclo (min)	9,40	12,39

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.13: Produção anual do caminhão articulado Volvo A40F ano de 2019

Cálculo De Produção por ano 2019		
Volvo A40F	ROM	Estéril
Número de ciclos por hora	6,00	5,00
Fator de enchimento da caçamba	1,00	1,00
Disponibilidade	0,910	0,910
Utilização	0,840	0,840
Horas programadas por ano	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba	40,00	40,00
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.14: Tempo de ciclo Scania G480 ano de 2019

Tempo de ciclo		
Scania G480	ROM	ESTERIL
DMT (km)	2,00	2,40
Velocidade Média (km/h)	20,00	18,00
Tempo de deslocamento (min)	6,00	8,00
Tempo de Carga (min)	2,33	2,80
tempo de basculamento (min)	0,90	0,90
tempo de manobra (min)	0,50	0,50
Tempo de ciclo (min)	9,73	12,20

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Tabela 3.15: Produção anual do caminhão Scania G480 ano de 2019

Cálculo De Produção por ano 2019		
Scania	ROM	Estéril
Número de ciclos por hora	6,00	5,00
Fator de enchimento da caçamba	1,00	1,00
Disponibilidade	0,950	0,950
Utilização	0,840	0,840
Horas programadas por ano	7200,00	7200,00
Operação conjugada	0,90	0,90
Capacidade da caçamba	48,00	48,00
Eficiência operacional	0,85	0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

O número de equipamentos de carga e transporte pode ser calculado pelas equações 20, 21, 22 e 23:

$$N^{\circ} \text{ equipamentos de carga estéril} = \frac{\text{Massa de estéril movimentada}}{\text{Produção de estéril anual por equipamento de carga}} \quad (20)$$

$$N^{\circ} \text{ equipamentos de carga minério} = \frac{\text{Massa de minério movimentada}}{\text{Produção de Minério anual por equipamento de carga}} \quad (21)$$

$$N^{\circ} \text{ equipamentos de transporte estéril} = \frac{\text{Massa de estéril movimentada}}{\text{Produção de estéril anual por equipamento de transporte}} \quad (22)$$

$$N^{\circ} \text{ equipamentos de transporte minério} = \frac{\text{Massa de minério movimentada}}{\text{Produção de minério anual por equipamento de transporte}} \quad (23)$$

Tratando-se de equipamentos, os resultados dos cálculos devem ser constituídos por números inteiros, se os indicadores permitirem melhorias o recomendado é arredondar o número para baixo. Caso não admitirem, é aconselhável arredondar para cima, porque quanto maior o tempo de operação maior será o desgaste que os equipamentos sofrerão, piorando os indicadores.

Quanto maior a aderência dos indicadores de produção estimados aos indicadores praticados, maior será a aderência da estimativa de produção à produção realizada. As estimativas dos indicadores de produção devem ser embasadas em estudos de campos, manuais de fabricantes e principalmente estar aderentes às médias históricas praticadas em cada operação para que se evite valores subestimados ou superestimados, causando divergências na capacidade produtiva dimensionada com a realizada. O uso de softwares no sistema de despacho tem o intuito de aproximar ao máximo os valores praticados, dos valores estimados para os indicadores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Influência do dimensionamento de frota nos custos unitários

Através dos cálculos mencionados acima, para o dimensionamento de 2017 os resultados de produção anual por equipamento de carga e transporte estão ilustrados na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Produção anual por equipamento de carregamento e transporte

Resultado de produção por escavadeira		
Equipamento	ROM (t)	Estéril (t)
Volvo EC480	2.374.605,85	2.074.434,26
Volvo EC380	1.950.569,09	1.703.999,57
Liebherr 954	3.143.129,61	2.745.809,69

Resultado de produção por equipamento no ano 2017		
Equipamento	ROM (t)	Estéril (t)
Actros 4844	1.246.834,94	935.126,21
Volvo A40F	1.347.300,86	1.010.475,65

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

A frota de equipamentos de carregamento e transporte foi composta por 6 caminhões e 3 retroescavadeiras como ilustrado na tabela 4.2. Esse cálculo foi comparativo em relação aos equipamentos já utilizados na mina no ano de 2017 e foi comprovado o bom dimensionamento da mina, uma vez que o número calculado de equipamentos e o número de equipamentos que operam na mina são iguais.

Esse número de equipamentos é considerado a frota média que é necessária para produção das massas planejadas por ano. Contudo, mínimas variações nos indicadores podem alterar esses valores, reduzindo ou aumentando o número de equipamentos nas frotas

Tabela 4.2: Movimentação calculada no ano de 2017

Transporte			
Equipamento	Nº de equipamentos	ROM	Estéril
Volvo A40F	3	673.650,43	2.526.189,12
Actros 8x4	3	3.740.504,83	-
Total	6	4.414.155,26	2.526.189,12
Movimentação	6		6.940.344,38

Carregamento			
Equipamento	Nº de equipamentos	ROM	Estéril
Volvo EC 480	1	-	2.074.434,26
Volvo EC 380	1	1.560.455,27	340.799,91
Liebher 954	1	3.143.129,61	
Total	3	4.703.584,89	2.415.234,17
Movimentação	3		7.118.819,06

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

A movimentação realizada no ano de 2017 foi de 6.526.187t, com uma aderência de 93% em relação a movimentação calculada pelos índices de produção demonstrada nesse trabalho e uma aderência de 93% da movimentação programada pelo planejamento da mina. Essa diferença de movimentação é devido a restrição de área da mina, sendo que muitos acessos são de mão única causando atrasos operacionais, como fila de caminhões, diminuindo muito a produtividade dos caminhões e aumentando a ociosidade dos equipamentos de carga. Como também a grande movimentação dos equipamentos de carga, que são realocados a novas frentes de lavra constantemente, pois devem atender o teor requisitado pela usina.

Ao fazer a análise da capacidade de produção ociosa para frota de caminhões dimensionada, percebe-se que para o primeiro ano, com a frota de 6 caminhões tem-se uma capacidade de produção 2% acima da massa planejada para o ano, já para a frota de escavadeiras a capacidade é de 1% acima da massa planejada.

A partir desses dados pode-se considerar um bom dimensionamento de frota de equipamento, uma vez que a capacidade de produção calculada e a produção planejada estão bem aderentes. Sendo essa opção a mais conservadora, pois com uma produção acima do planejado, pode haver uma margem de segurança para variações negativas nos indicadores de produção praticados, reduzindo a capacidade de produção da frota.

A produção anual por equipamento de carga e de transporte calculada, pode ser vista na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Produção anual por equipamento de carregamento e transporte

Resultado de produção por escavadeira		
Equipamento	ROM (t)	Estéril (t)
Volvo EC480	2.374.605,85	2.074.434,26
Volvo EC380	1.950.569,09	1.703.999,57
Liebherr 954	3.143.129,61	2.745.809,69

Resultado de produção por equipamento no ano 2019		
Equipamento	ROM (t)	Estéril (t)
Scania G480	1.225.895,73	1.021.579,78
Volvo A40F	1.010.475,65	842.063,04
Actros 4844	935.126,21	779.271,84

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

O dimensionamento de 2019 calculado conta com 12 equipamentos de transporte e 5 equipamentos de carga como pode ser visto na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Movimentação calculada 2019

Transporte			
Equipamento	Nº de equipamentos	ROM	Estéril
Volvo A40F	4	-	4.210.315,20
Actros 8x4	3	2.337.815,52	389.635,92
Scania G480	5	6.329.352,96	
Total	12	8.667.168,48	4.599.951,12
Movimentação			13.267.119,60
Carregamento			
Equipamento	Nº de equipamentos	ROM	Estéril
Volvo EC 480	1	-	2.074.434,26
Volvo EC 380	1	1.950.569,09	-
Liebherr 954	3	6.286.259,23	3.143.129,61
Total	5	8.236.828,32	5.217.563,87
Movimentação			13.454.392,19

Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

Para o dimensionamento de 2019, a frota de 2017 foi mantida, pois os equipamentos ainda estão em perfeitas condições de operar na mina de modo seguro e eficiente.

Neste ano a frota de equipamentos de carga e transporte foi ampliada para: 12 caminhões e 5 retroescavadeiras. Esse aumento no número de caminhões é causado pelo aumento do tempo de ciclo em consequência do incremento da DMT e o aumento no volume de produção. Neste cenário serão adquiridos cinco caminhões Scania G480 e um caminhão articulado Volvo A40F.

Em relação as retroescavadeiras serão adquiridas mais duas unidades Liebherr 954, pelo fato de ser a máquina de carga de maior porte compatível aos equipamentos de transporte da mina e suprir o novo volume de produção.

Na análise da capacidade de produção ociosa para frota de caminhões dimensionada para o ano de 2019, com 12 caminhões tem-se uma capacidade de produção ideal em relação a massa planejada para o ano, já para a frota de carregamento a capacidade é de 5% acima da massa planejada. Assim como no ano de 2017, este resultado pode ser considerado um bom dimensionamento de frota de equipamento, uma vez que a capacidade de produção calculada e a produção planejada estão bem aderentes. Sendo essa opção a mais conservadora, pois com uma produção acima do planejado, pode haver uma margem de segurança para variações negativas nos indicadores de produção praticados, reduzindo a capacidade de produção da frota.

Apesar do dimensionamento de frotas por indicadores de produção gerar resultados extremamente fidedignos à realidade da operação, este deve ser utilizado em conjunto com outras ferramentas, métodos, premissas e oportunidades adequadas a cada caso e frota a ser dimensionada.

5 CONCLUSÃO

O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de dimensionar uma frota de carregamento e transporte utilizando indicadores de produção, juntamente com a análise dos custos totais e unitários com a variação do tamanho da frota e volume de produção. A análise do comportamento dos custos com a variação do volume de produção para diferentes capacidades produtivas da frota, demonstrou de modo mais abrangente o dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em uma mineração a céu aberto.

Para a empresa, foco do estudo, é de suma importância o correto dimensionamento de sua frota de equipamentos, de tal forma que a presente quantidade de unidades de transporte e carregamento fossem capaz de atender a atual demanda de produção. Neste sentido, o estudo de viabilidade entre o caminhão Scania G480 e Actros 4844 contribuiu para determinar qual o equipamento de transporte está melhor preparado para a tarefa, gerando menor custo.

Com a utilização dos conceitos fundamentais implementados no modelo desenvolvido, chegou-se a uma frota ótima de equipamentos de transporte e carga para a movimentação planejada para cada ano, composta por 6 caminhões e 3 retroescavadeiras hidráulicas para o ano de 2017. Comprovando a eficiência do método de dimensionamento de frota por índices de produção, uma vez que a frota ótima calculada é compatível com os equipamentos que operavam na mina no ano.

Enquanto que para o ano de 2019 a frota de equipamentos de carga e transporte é composta por: 12 caminhões e 5 retroescavadeiras. Neste cenário será preciso adquirir 2 equipamentos de carga e 6 equipamentos de transporte. Sendo um número baixo uma vez que o volume da produção irá aumentar em 100% e as distâncias de transporte irão aumentar.

Como se pode notar neste trabalho, o dimensionamento é um problema constante, que se inicia na fase de projeto da mina e perdura até o seu fechamento, pois em caso de expansão da mina ou diminuição do volume de produção, é necessário que seja realizado um novo estudo de dimensionamento.

Recomenda-se para trabalhos futuros, caso haja uma mudança na geometria da mina em relação aos acessos e altura dos bancos, um estudo de caso para o aumento do porte dos equipamentos de carga e transporte, aumentando dessa forma a produtividade dos equipamentos.

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento, quantificação, cenário de produção e custos de operação. Contudo cabe ao tomador de decisão, a análise das alternativas, riscos envolvidos em cada uma delas, e conseqüentemente a escolha da alternativa mais viável para a empresa.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMARAL, M. **Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. 2008. 108p.

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, Thiago Campos. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3411/1/DISSERTAÇÃO_AnáliseCustoOperacionais.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2018.

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

CATERPILLAR - Catálogo: **Pá-Carregadeira de esteiras - 973D**, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 28 de março de 2018

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open pit mine planning & design**, Porto Alegre: Irradiação Sul Ltda. Vol. 1: Fundamentals. 636 p. 1995.

HUSTRULID, W., KUCHTA, M. **Open Pit Mine Planning & Design**. Volume 1- Fundamentals. 2ª Edição. Editora A. A. Balkema, Rotterdam. p. 95-96, 1998.

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

MACEDO, A. J. B. ; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. . **Seleção do método de lavra: arte e ciência**. Rem, Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 3. 2001

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.

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

SOUSA JÚNIOR, Wilson Trigueiro de. T. **Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão: estudo de caso - Mineração de 67 bauxita**. . 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2649/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Sele%C3%A7%C3%A3oCaminh%C3%B5esRodovi%C3%A1rios.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.