



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



**CRITÉRIO DE COMPARAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICO ENTRE CAMIÕES
CONVENCIONAIS DIESEL E OS CAMIÕES CONVENCIONAIS DIESEL-ELÉCTRICO**



ESTUDO DE CASO: PROJECTO LUAXE

Autor: Garcia Tomás Ndungui

Estudante: N° 86811

Trabalho de Fim do curso para a obtenção do Grau de
Licenciado em Engenharia de Minas

Luanda, 2022

**UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**CRITÉRIO DE COMPARAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICO ENTRE CAMIÕES
CONVENCIONAIS DIESEL E OS CAMIÕES CONVENCIONAIS DIESEL-ELÉCTRICO**

ESTUDO DE CASO: PROJECTO LUAXE

Autor: Garcia Tomás Ndungui

Nº 86811

Trabalho de fim do Curso a apresentado á Faculdade de Engenharia da UAN como Requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Engenharia de Minas, orientado pelo professor: Msc, Eng. João Cláudio Cabeia.

Luanda, 2022

EPÍGRAFE

« Se não perguntares de onde vim, por onde passei, nunca vais entender como cheguei até aqui »

[Garcia Ndungui, 2022]

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Ndunguidi Eduardo e Maria Suzana Samuel. Especialmente ao meu pai (criação) que não se faz presente no mundo dos vivos, João Canga Tomás (que Deus o tenha em sua glória) e aos meus irmãos e amigos; Nico dos Santos que tanto me apoio em me ver graduado, e com as mínimas condições conseguiu concretizar esse sonho, dedicou seu carinho e apoio na busca pelo sucesso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por estar sempre presente em nossas vidas, aos meus pais que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que chegássemos até a esta etapa da nossas vidas, ao orientador João Cláudio Cabeia pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, aos meus familiares, irmãos, amigos e colegas pelo apoio incondicional. Agradeço a Universidade Agostinho Neto de modo particular a Faculdade de Engenharia pelos meios disponibilizados, didáticos, materiais e humanos, também igualmente a todos os professores do Departamento de Minas pelo conhecimento transmitido neste percurso.

RESUMO

Este trabalho com o tema critério de comparação entre camiões convencionais diesel e diesel-eléctrico, o tipo de equipamentos, tamanho, quantidade, produtividade, especificações e fornecedores são fundamentais para uma selecção correcta dos vários equipamentos disponíveis para a lavra, contribuindo para uma operação harmoniosa de mina e dentro do menor custo possível, no sector da mineração industrial, que permite a extracção de substâncias minerais localizadas em depósitos naturais e o transporte até ao ponto do seu tratamento. Este trabalho tem como tipo de pesquisa Descritiva, com um modelo de abordagem qualitativa e quantitativa numa problemática de escolha de equipamentos de transporte de minério/estéril no projecto do Luaxe que permita uma melhoria na planificação, tendo como hipóteses, os custos elevados dos meios de transporte de minério/estéril numa mina, a definição de um meio que se adequa a uma melhor planificação e produtividade. Este trabalho de pesquisa tem como objectivo geral e específicos realizar uma análise comparativa entre dois diferentes tipos de camiões fora de estrada utilizados na mineração, avaliar as características dos equipamentos actuais por meio dos indicadores de desempenho de manutenção e operação, bem como fazer uma comparação de dois meios de transporte (camiões diesel e camiões diesel-eléctrico) através de custos operacionais, económicos e produtivos, com uma conclusão uma sugestão das mais relevantes.

Palavras-chave: Critérios, equipamentos, transporte, produtividade, custos, rentabilidade.

ABSTRACT

This work with the theme of comparison criteria between conventional diesel and diesel-electric trucks, the type of equipment, size, quantity, productivity, specifications and suppliers are fundamental for a correct selection of the various equipment available for mining, contributing to a harmonious operation of mine and at the lowest possible cost, in the industrial mining sector, which allows the extraction of mineral substances located in natural deposits and transport to the point of treatment. This work has as a descriptive research type, with a qualitative and quantitative approach model in a problematic of choice of ore/sterile transport equipment in the Luaxe project that allows an improvement in the planning, having as hypotheses the high costs of the means of transportation. transport of ore/sterile in a mine, the definition of a means that is suitable for better planning and productivity. This research work has as a general and specific objective to carry out a comparative analysis between two different types of off-road trucks used in mining, evaluate the characteristics of current equipment through maintenance and operation performance indicators, as well as make a comparison of two modes of transport (diesel trucks and diesel-electric trucks) through operating, economic and productive costs, with a conclusion one of the most relevant suggestions.

Keywords: Criteria, equipment, transport, productivity, costs, profitability.

ÍNDICE

EPÍGRAFE	I
DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XI
INTRODUÇÃO	1
PROBLEMA.....	2
OBJECTO DE ESTUDO.....	2
OBJECTIVOS.....	2
OBJECTIVO GERAL	2
OBJECTIVOS ESPECÍFICOS.....	2
HIPÓTESE	2
JUSTIFICATIVA	3
METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	3
ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.....	3
ESTUDO DE CAMPO	3
MATERIAIS UTILIZADOS	4
ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	4
CAPÍTULO I - ESTUDO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE PROJECTO DE EXPLORAÇÃO DE JAZIGO DE KIMBERLÍTICO	5
1.1. Definições de Conceitos	5
1.2. Etapas de um Projecto.....	5
1.3. Ideia Inicial.....	6
1.4. Estudo Exploratório ou Conceitual.....	7
1.5. O Estudo de Pré-Viabilidade.....	8
1.6. O Estudo de Viabilidade	9

CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DA ÁREA EM ESTUDO.....	13
2.1. Breve História do Projecto Luaxe	13
2.2. Localização Geográfica da Mina.....	13
2.3. Clima, Fauna e Flora	14
2.4. Hidrografia e Geomorfologia.....	16
2.5. Infraestruturas.....	16
2.6. Enquadramento Geológico da Área.....	17
2.7. Estrutura Geológica do Jazigo	18
2.8. Monitorização das Operações e Controlo de Produção.....	19
2.9. Vida Útil da Mina.....	20
CAPÍTULO III - EQUIPAMENTOS DE CARGA E TRANSPORTE	21
3.1 Camião Fora de Estrada.....	21
3.2 Selecção de Equipamentos de Carga e Transporte	22
3.2.1 Critérios para a Selecção de Equipamentos de Transporte.....	23
3.3 Dimensionamento e Compatibilização do Porte de Equipamentos	24
3.4 Dimensionamento de Frota de Equipamentos de Carga e Transporte na Mina .	25
3.5 Produtividade das Frotas de Carregamento e Transporte	27
3.5.1 Cálculos Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos	28
CAPÍTULO IV - OPERAÇÃO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE NA LAVRA A CÉU ABERTO.....	34
4.1 Sistemas de Transporte na Lavra a Céu Aberto.....	34
4.2 Camiões Diesel.....	34
4.2.1 Lavra com Transporte por Camiões Diesel.....	35
4.3 Vantagens da Lavra com Transporte por Camiões Diesel.....	37
4.4 Desvantagens da Lavra com Transporte por Camiões Diesel.....	38
4.5 Camião fora de estrada da Série 795 f	39
4.6 Camião Diesel-Eléctrico.....	41
4.7 Sistema de Transporte com Camiões Diesel-Eléctricos	43
CAPITULO V - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS CAMIÕES DIESEL E DIESEL-ELÉCTRICO	46

5.1	Ritmo de Produção e Vida da Mina	46
5.2	Cálculo da Produtividade de Equipamento de Carregamento e Transporte	47
5.3	Comparação Técnica entre Camião Diesel e Diesel-Eléctrico.....	52
5.4	Estabelecimento dos Custos de Investimento e Operação.....	53
5.4.	Opção aos Camiões Diesel-Eléctricos.....	58
5.5.1	Análise e Discussão dos Resultados	58
CONCLUSÕES		60
RECOMENDAÇÕES		61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		62
ANEXOS.....		64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA MINA DO LUAXE (SMC, 2019).....	14
FIGURA 2 - VEGETAÇÃO DA REGIÃO DAS LUNDAS (SMC, 2019)	15
FIGURA 3 - FAUNA DA REGIÃO DAS LUNDAS (SMC, 2019)	16
FIGURA 4 - CARTA GEOLÓGICA E TECTÓNICA-ESTRUTURA DO KIMBERLITO CATOCA	19
FIGURA 5 - CAMIÃO FORA DE ESTRADA (CATÁLOGO CATERPILLAR, 2012).....	21
FIGURA 6 - MEDIDAS DO CAMIÃO FORA DE ESTRADA (CATÁLOGO KAMATSU, 2012).....	22
FIGURA 7 - SELECÇÃO DE EQUIPAMENTOS E FACTORES SENSÍVEIS AO DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS (BOZORGEBRAHIMI, HALL AND BLACKWELL, 2003)	27
FIGURA 8 - TREM DE FORÇA MECÂNICO (MARCELO PEREIRA, 2019).....	35
FIGURA 9 - EVOLUÇÃO DO TAMANHO DOS CAMINHÕES FORA-DE-ESTRADA (LOPES, 2010).	36
FIGURA 10 - CAMIÃO FORA-DE-ESTRADA DA SÉRIE 795 F, CAT	39
FIGURA 11 - TREM DE FORÇA DIESEL-ELÉCTRICO (MARCELO PEREIRA, 2019)	41
FIGURA 12 - ESQUEMA DE RETARDO DINÂMICO (MARCELO PEREIRA, 2019).....	42
FIGURA 13 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE (SIDNEY VELOSO, 2015)	43
FIGURA 14 - CAMIÃO FORA DE ESTRADA BUCYRUS MT 4400AC (SIDNEY VELOSO, 2015).....	45
Figura 15 - Ilustração de várias distâncias percorridas pelo camião na mina (SIDNEY VELOSO, 2015)	52
FIGURA 16 - ILUSTRAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DO CAMIÃO DIESEL (AUTOR).	55
FIGURA 17 - ILUSTRA CUSTO DE OPERAÇÃO DO CAMIÃO DIESEL-ELÉCTRICO (AUTOR).....	56
FIGURA 18 - COMPARAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS DOS DOIS CAMIÕES (AUTOR).....	58

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CAPACIDADE DOS CAMIÕES FORA DE ESTRADA CATERPILLAR	30
TABELA 2 - CAPACIDADE DAS ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS CATERPILLAR	30
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DA MINA EM FUNÇÃO DO SEU PORTE	47
TABELA 4 - CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DO MINA DO LUAXE	48
TABELA 5 - TEMPO DE CICLOS	49
TABELA 6 - NUMERO DE CICLOS	49
TABELA 7 - BALDE DA ESCAVADEIRA, CARGA ÚTIL DO CAMIÃO	50
TABELA 8 - VELOCIDADE HORIZONTAL E NAS RAMPAS.....	52
TABELA 9 - COMPARAÇÃO TÉCNICA DO CAMIÃO DIESEL E CAMIÃO DIESEL-ELÉCTRICO	53
TABELA 10 - MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	54
TABELA 11 - MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	55
TABELA 12 - CUSTO OPERACIONAL PARA CAMIÃO DIESEL-ELÉCTRICO E ESCAVADEIRA	56
TABELA 13 - CAMIÃO CONVENCIONAL DIESEL-ELÉCTRICO	57
TABELA 14 - COMPARAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS DOS DOIS CAMIÕES	57

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- [1] **SMC**: sociedade Mineira de Catoca;
- [2] **RVS**: rochas Vulcanogénico-Sedimentares
- [3] **BKM**: brechas Kimberlíticas com a textura Maciça;
- [4] **BAK**: brechas Kimberlíticas Autolíticas;
- [5] **BTK**: brechas Tufos Kimberlíticos;
- [6] **ZT**: zona de Transição
- [7] **BKMC**: brechas Kimberlíticas com a textura Maciça do Cimento
- [8] **ZX**: zona Xenolítica
- [9] **ECPC**: eficiência Conforto e Potência Constante;
- [10] **P**: produção do mineiro
- [11] **V**: vida útil do projecto
- [12] **VPL**: valor presente liquido
- [13] **MT**: movimentação total de material
- [14] **ROM**: movimentação de mineiro
- [15] **REM**: relação estéril/mineiro
- [16] **DMTm**: distância média de transporte de mineiro
- [17] **DMTe**: distância média de transporte de estéril
- [18] **Vc**: velocidade do camião carregado
- [19] **Vv**: velocidade do camião vazia
- [20] **Vm**: velocidade média
- [21] **UG**: utilização global
- [22] **EO**: eficiência operacional
- [23] **Tph**: transportação horária de material
- [24] **Tv**: tempo gasto pelo camião para retornar vazio até o local de carregamento
- [25] **Tf**: tempo fixo gastos em filas

- [26] **DMT**: distância média de transporte
- [27] **MSDII**: projecto específico para mina
- [28] **CA**: corrente alternada
- [29] **CC**: corrente contínua
- [30] **AC**: accionamento mecânico

INTRODUÇÃO

Uma das tarefas principais da indústria mineira, é a extracção de minerais úteis, tendo como consequência o aumento dos métodos de extracção, quer a céu aberto ou subterrâneo, transportá-lo até diferentes pontos de descarga, para sua passagem por operações de beneficiamento de minérios para atender a indústria. E tem como base a introdução de novas tecnologias relacionadas com o desenvolvimento do equipamento mineiro.

Isto obtém-se com a aquisição de máquinas que garantam a produção e produtividade necessária e que respondam às condições mineiras de exploração.

Em Angola a mineração é uma das protagonistas no apoio financeiro e económico do país, devido a vasta variedade de minerais que se pode encontrar no território angolano. Uma das principais operações na actividade de mineração é o transporte de material dentro da mina. Esta operação possui um valor considerável no processo chegando a ser responsável por aproximadamente 40% do custo total da produção do minério. Os camiões são responsáveis por fornecer continuamente a usina o minério que ela precisa, com um baixo custo por tonelada produzida.

Logo, a escolha de um equipamento de transporte mais eficiente a ser utilizado no processo de transporte deve ser realizada de forma cautelosa. Durante o processo de renovação de frota ou durante a expansão, não se deve levar em consideração apenas o custo de aquisição do equipamento, pois, os gastos financeiros para manter o equipamento em operação superam os custos iniciais de aquisição com o passar dos anos de utilização até atingir o fim da sua vida útil. Analisar o comportamento dos indicadores de desempenho das frotas de camiões ajuda as áreas responsáveis pela manutenção e operação a tomar decisões que auxiliam na redução dos custos e a ter um equipamento mais produtivo, explorando o seu máximo potencial.

PROBLEMA

- Escolher um sistema de transporte de minério/estéril que permite uma sustentabilidade no projecto do Luaxe.

OBJECTO DE ESTUDO

- Realizar um estudo comparativo dos camiões convencionais diesel e os camiões convencionais diesel-eléctrico no Projecto do Luaxe.

OBJECTIVOS

OBJECTIVO GERAL

- Escolher através de análise comparativa técnico-económico entre o camiões convencionais diesel e os camiões convencionais diesel-eléctrico no Projecto do Luaxe

OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

1. caracterizar geográfica e geológica a região de estudo;
2. Colectar dados que possam validar o estudo proposto; abordar os principais conceitos relacionados ao tema;
3. Avaliar as características dos equipamentos actuais por meio dos indicadores de desempenho de manutenção e operação;
4. comparar os dois sistema de transporte (camiões diesel e camiões diesel-eléctrico); em termos dos seus custos operacionais, económicos e produtivos.
5. Escolher um adequado sistema de transportação de minério/estéril da frente de lavra até a central de tratamento/escombreira.

HIPÓTESE

1. Considerando uma análise comparativa técnico-económica do sistema de transportação diesel e eléctrico e possível escolher um sistema de transporte mas adequado no projecto do luaxe.
2. Atraves de uma avaliação das características dos equipamento actuais (diesl) e de outros (eléctrico) é possível propor um sistema de transportação mas adequada.

JUSTIFICATIVA

- A necessidade da rentabilidade do processo de extração/transportação do minério/estéril da frente de lavra até a central de tratamento/escombreira e sua sustentabilidade ambiental.

METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A metodologia utilizada, comporta as fases de colecta e análise dos dados existentes, levantamentos de campo e os procedimentos adoptados para a análise global dos resultados.

Para o cumprimento das tarefas planeadas empregou-se uma metodologia integral de investigação que consta de trabalhos analíticos e experimentais. Esta metodologia, é aplicada na descrição do sistema de transportação do minério/estéril da frente de lavra até a central de tratamento/escombreira, tanto em obras subterrâneas como de superfície. Esta metodologia constitui um suporte científico e inclui aspectos de grande importância que permitem descrever e estabelecer uma comparação entre os camiões diesel e os camiões diesel-eléctrico.

ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

- Para o cumprimento dos objectivos do presente trabalho, e reunir maior quantidade de informações destinadas a fundamentação teórica.
- Realizou-se a investigação bibliográfica do tema, em que se analisou o estado actual da temática no país e no resto do mundo. Os trabalhos efectuados nesta área, relacionados com o tema, em teses, artigos, dissertações, livros digitais e em formato físico de modo a explorar a fundamentação teórica; que proporcionaram uma informação importante para o objecto de estudo – Mina de Luaxe.

ESTUDO DE CAMPO

Os dados sobre o objecto em estudo, bem como do projecto em geral, foram adquiridos e/ou fornecidos a partir dos arquivos da SMC e do Projecto Luaxe, nomeadamente dados sobre localização geográfica, resultados de diferentes estudos geológicos.

E obter os dados comparativos entre os camiões diesel e camiões diesel-eléctrico e, que inclui os seguintes aspectos:

- Estudo e avaliação das condições físicas da Mina do Luaxe.
- Avaliou-se a qualidade e estabilidade do equipamento de transporte.

MATERIAIS UTILIZADOS

Para a execução deste trabalho foram utilizados materiais que deram suporte como: Computador (com ajuda de alguns softwares, que permitiram a elaboração de todo conteúdo, as tabelas, etc.) e máquina calculadora.

ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco (5) Capítulos e dois anexos, precedido de uma nota de abertura que apresenta uma introdução sobre a escolha da tecnologia de Transportação no Projecto Luaxe, o tema, a descrição do problema, objecto de estudo, objectivos – gerais e específicos, hipótese e a justificativa.

No capítulo I – Faz-se um estudo das etapas de desenvolvimento de um projecto de exploração de jazigo kinberlítico, definições e conceitos, etc.

No Capítulo II – Faz-se uma descrição sobre caracterização geográfica e geológica da área em estudo, geografia da região, localização geográfica da mina do Luaxe, vias de acesso, clima, relevo, Geologia da região, etc.

No Capítulo III – Aborda-se sobre a selecção de equipamentos de carga e transporte; critérios para a selecção de equipamentos de transporte; dimensionamento e compatibilização do porte de equipamentos; produtividade das frotas de carregamento e transporte; conceitos fundamentais para estimativa de produtividade dos equipamentos. O objectivo deste capítulo é mostrar a importância da área no contexto geral do projecto.

No Capítulo IV – Faz-se uma abordagem das operações de carregamento e transporte na lavra a céu aberto; e fala-se também de sistemas de transporte na lavra a céu aberto; lavra com transporte por camiões; vantagens e desvantagens da lavra com transporte por camiões; camião fora de estrada da série 795 f.

No capítulo V – Faz-se o estudo comparativo entre os Camiões diesel e diesel-eléctrico.

CAPÍTULO I - ESTUDO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO DE EXPLORAÇÃO DE JAZIGO DE KIMBERLÍTICO

1.1. Definições de Conceitos

- **Projecto:** é um conjunto de ideias e acções devendo ser levado a cabo de forma coordenada para alcançar uma meta;
- **Desenvolvimento:** é acção ou efeito de desenvolver algo (materializar, concretizar, acrescentar, melhorar, aperfeiçoar);
- **Exploração:** é o efeito de explorar, realizar um conjunto de actividades que são levados a cabo para tirar o proveito de uma determinada fonte (Bernado Marcelino, 2019).

1.2. Etapas de um Projecto

Analisando os modelos industriais e o desenrolar de certos projectos mineiros de grande vulto, constata-se que os promotores e executores destes projectos seguem as seguintes etapas:

- I. Nascimento da ideia inicial;
 - II. Estudo exploratório ou conceptual;
 - III. Estudo de pré-viabilidade;
 - IV. Estudo de viabilidade;
 - V. Estudo de engenharia ou de projectos executivos;
 - VI. Construção;
 - VII. Início ou arranque (posta em funcionamento da mina).
- À medida da progressão do projecto, as etapas exigem investimentos cada vez mais importantes para efectuar os estudos que se impõem bem como preparar os documentos requeridos para precisar as avaliações e facilitar a tomada de decisões. Tendo em conta a envergadura do projecto, algumas destas etapas serão mais ou menos elaboradas considerando um projecto modesto, por exemplo, pode-se juntar as 2 primeiras etapas e fazer de mesmo para a 3ª e 4ª (Bernado Marcelino, 2019).

1.3. Ideia Inicial

A ideia inicial de um projecto nasce da criatividade e do espírito de inovação que possui qualquer industrial ou promotor. Esta ideia pode resultar de um processo de indução ou de dedução, ou ainda pode ser inspirada por uma fonte exterior.

a) Processo de indução

Este processo revela da intuição a ideia inicial surge aquando de uma discussão, de uma leitura, de uma sessão de informação ou de visita de uma exposição. O resulta geralmente da confrontação de dados diparados que se combinam repentinamente para fazer ressurgir uma ideia de projecto.

b) Processo de dedução

Este processo é o mais racional: a ideia do projecto surge do estudo das conclusões tiradas de uma análise de situação. Ela se integra normalmente nas actividades da direcção de uma empresa a análise da situação de um sector faz objecto de uma síntese que da lugar a recomendações, depois a estratégias de acção. Estas estratégias podem a seu termo, gerar a ideias de um projecto específico. O projecto de exploração do kimberlito Luaxe, por exemplo, nasceu exactamente segundo este processo.

c) Fonte externa

- Alguém teve a ideia de um projecto, mas não esta capaz de o realizar. O dirigente de uma empresa faz-se promotor desta ideia ou ele a recupera a sua conta. Os gabinetes de consultorias, centro especializados, os fabricantes de equipamentos e os peritos dos ministérios de recursos naturais são exemplo de principais fontes externas de projectos. No caso do projecto Luaxe, os serviços competentes do ministério de recurso naturais e petróleo orientaram e apoiaram estrategicamente a decisão tomada pelo Catoca para aquisição da concessão do kimberlito Luele (projecto Luaxe) para que uma ideia se torna realidade, ela deve atravessar com sucesso uma fase muito critica: ela deve tornar-se prioritária no espírito de quem a concebeu ou adoptou. Sem isto, pouca importância vai-lhe ser consagrada e pouca energia lhe é concedida, correndo o risco de ser rapidamente afogada, a menos que outra empresa a recupera e faz dela uma prioridade (Marcelino, 2019).

1.4. Estudo Exploratório ou Conceitual

O estudo exploratório é um documento escrito preparado com intuito de dar a conhecer as grandes linhas de um projecto a fim de interessar os decisores de uma empresa e os levar, eventualmente, a libertar os orçamentos requeridos para ir em frente, para avançar. É portanto um documento essencialmente interno, que permite aos gestores envolvidos tomar decisões esclarecidas. Passando de trocas de ideias ou de discussões para redacção de um estudo exploratório, o promotor é forçado de confirmar a sua ideia e explicá-la muito racionalmente. De facto, o estudo exploratório é uma demonstração que o promotor faz da validade de suas ideias. Ele aprova que um projecto é válido.

✓ Os objectivos

O estudo exploratório alveja três objectivos:

- 1) Precisar o ou os produtos que se pretende fabricar;
- 2) Avaliar o projecto a partir de certos critérios;
- 3) Convecer que o projecto é suficientemente interessante para ser objecto de um estudo de pré-viabilidade.

As críticas e objecções levantadas aos diversos patamares de decisão levarão necessariamente o autor a modificar sua ideia inicial. De sublinhar que numa empresa, importa determinar a que nível hierárquico as decisões relativas ao projecto deverão ser tomadas. Este nível depende geralmente do tamanho da empresa e da envergadura do projecto.

✓ Conteúdo

O estudo exploratório determina o quadro geral do projecto, sem precisar os limites do mesmo, os quais serão estabelecidos pelos estudos ulteriores. O estudo exploratório, ou conceito actual, porta essencialmente sobre:

- 1) A matéria-prima requerida (mineiro, volume, preço, qualidade);
- 2) O mercado para o qual o (s) produto (s) está (estão) destinado (s);
- 3) Os benefícios que a empresa retiraria deste projecto;
- 4) A planificação e o procedimento a seguir para atravessar as etapas subsequentes.

✓ Conclusão do estudo exploratório

Uma vez que o promotor da ideia respondeu as objecções levantadas (mais contribuições) a diversos níveis da empresa e que recebeu a aprovação do devido gestor, seu projecto é verdadeiramente lançado e pode passar para a etapa seguinte.

1.5. O Estudo de Pré-Viabilidade

O objectivo deste estudo é determinar a rentabilidade de um projecto, estabelecendo os custos com uma margem de erros na ordem de 20 a 30%, com vista a sustentar o interesse dos investidores e parceiros eventuais. Contrariamente ao estudo exploratório, que permite tomar decisões no interior da empresa unicamente, este documento é destinado não só aos dirigentes da própria empresa, mas também aos das companhias ou instituições financeiras que se pretende eventualmente sensibilizar ao projecto. O estudo de pré-viabilidade pode ser realizado pelo autor deste estudo exploratório, se tem a competência exigida, ou por um grupo de trabalho constituído no seio da empresa, ou que não implica nenhum gasto. A empresa tem porém a latitude de fazer revisar ou completar certas partes do estudo por um gabinete de consultoria ou organismos de desenvolvimento económico.

✓ Objectivos

O estudo de pré-viabilidade visa essencialmente os seguintes objectivos:

- 1) Reorientar o projecto, se necessário;
- 2) Precisar os criterios de avaliação;
- 3) Suscitar o interesse de investidores ou de parceiros privados que participarão do financiamento das etapas subsequentes, se for o caso.

✓ Conteúdo

O estudo de pré-viabilidade precisa os limites do projecto e suas implicações. Os custos de imobilização são avaliados a partir do conceito geral, da lista das principais máquinas, de dados provenientes de projectos similares, recentemente realizados, de estimação de custos usando grelhas de referencia pré-estabelecidas como «custos em função das capacidade» que são indexados, caso necessário, com os factores de ajuste e de uma descrição sucinta dos trabalhos de construção a ser efectuados. O estudo de pré-viabilidade conte com:

- a. As características dos produtos que se pretende obter;
- b. Uma análise sucinta dos aprovisionamentos requeridos, volumes, qualidades, e preços;
- c. Um estudo de mercado preliminar;
- d. Uma análise de subprodutos, caso necessário: preços, mercados, etc.;
- e. Uma avaliação da tecnologia;
- f. Uma avaliação sucinta da disponibilidade da mão-de-obra;
- g. Uma aproximação dos custos de produção, de exploração e de transporte, bem como dos investimentos necessários;
- h. Uma avaliação sucinta da rentabilidade;
- i. Os critérios a considerar para escolherem o local da eventual usina ou central de tratamento;
- j. Um inventário das fontes de financiamento possíveis fora dos promotores privados;
- k. A estrutura jurídica da empresa: cooperativa, companhia, etc.;
- l. A planificação das etapas ulteriores.

✓ **Conclusão do estudo de pré-viabilidade**

O estudo de pré-viabilidade fixa os limites do projecto e permite deduzir elementos que revestem um interesse particular para o promotor, nomeadamente:

- 1) A rentabilidade e o financiamento do projecto;
- 2) A sinergia com sua empresa, caso ocorra;
- 3) O ambiente (competitividade, posto no mercado).

A localização permite avaliar a viabilidade do projecto. Se as suas conclusões são positivas, pode se procurar parceiros potenciais para financiar uma parte do estudo de viabilidade, a 4ª etapa. Antes de iniciar esta etapa. Obter o acordo de princípio das partes, que será lavrado num memorando de entendimento (***memorandum of understanding ou mou***) (Marcelino, 2019).

1.6. O Estudo de Viabilidade

O estudo de viabilidade é a chave de todo projecto. Pois ela serve de referência para todos as etapas ulteriores do desenvolvimento. Ele pode ser efectuado por um ou mais

gabinete (s) especializado (s), de competência de reconhecida no sector em causa. Todavia, o mandato dos responsáveis encarregues de realiza-lo deve ser definido conjuntamente pelos diversos parceiros envolvidos no projecto.

O conteúdo do estudo de viabilidade deve ser concebido em função dos números os destinatários que se pretende convencer: instituições financeiras, sociedade de capital de risco, governos, clientes, fornecedores, sócios, parceiros, etc.

Os autores deverão, nomeadamente, avaliar a rentabilidade do projecto, estabelecendo os custos com uma margem de erro de 10 a 15%. Para projectos de grande envergadura, podem se efectuar análises específicos para verificar se o projecto é conforme a leis e regulamentos em vigor a todos os níveis de governos e para responder a perguntas levantadas por certos aspectos:

- 1) Impactos sociais;
- 2) Ganhos económicos;
- 3) Localização;
- 4) Infraestruturas a colocar;
- 5) Impactos ambientais.

✓ **Objectivos**

O estudo de viabilidade visa os seguintes objectivos:

- 1) Produzir um documento que servirá de referência a todas as etapas posteriores do projecto;
- 2) Fazer a promoção do projecto de forma a interessar os investidores potenciais;
- 3) Definir o esquema de financiamento do projecto; nomeadamente o capital de risco.

✓ **Conteúdo**

O estudo de viabilidade fixa os limites do projecto e permite medir todas as suas implicações. O cálculo dos custos de imobilização é baseado em dados mais precisos: esquema de procedimentos, lista de equipamentos requeridos infraestruturas civis, instalações mecânicas e eléctricas, descrição completa dos trabalhos de construção e ordenamento da central de tratamento, etc.

O estudo de viabilidade conta geralmente de oito secções consagradas aos seguintes elementos:

- **Projecto:**

- 1) Descrição do projecto e dos produtos finais a obter (características, volumes, etc.)

- **Aprovisionamentos:**

- 1) Identificação e estimação dos custos de aprovisionamento em consumíveis, incluindo combustível e energia.

- **Mercado:**

- 1) Estudo do mercado, de porte de mercado visada;
- 2) Da concorrência e da colocação no mercado;
- 3) Fixação dos preços e vendas eventuais;
- 4) Vantagens concorrenciais;
- 5) Obtenção de brevets, de homologações, de marcas de comércio, caso haja.

- **Tecnologia:**

- 1) Avaliação técnica do projecto;
- 2) Escolha da tecnologia e dos processos;
- 3) Elaboração do plano de ordenamento dos equipamentos;
- 4) Exigências ambientais;
- 5) Licenças necessárias e direitos de utilização de brevets, caso haja.

- **Produção:**

- 1) Programa de produção;
- 2) Avaliação da utilização dos subprodutos;
- 3) Estimação dos custos de produção;
- 4) Estimação dos custos de formação da mão-de-obra e de arranque.

- **Financiamento:**

- 1) Plano de financiamento (colocação de fundos, empréstimos);
- 2) Participação eventual dos governos (capital de risco, subvenção, empréstimo, garantia de empréstimo, etc.);
- 3) Planificação das etapas ulteriores, calendário.

- **Infraestruturas:**

- 1) Avaliação dos sítios possíveis das infraestruturas requeridas.

- **Rentabilidade:**

- 1) Tamanho da planta de tratamento e investimentos;
- 2) Análise do fundo ou capital de giro;
- 3) Avaliação dos movimentos da tesouraria;

- 4) Avaliação do custo das mercadorias vendidas;
- 5) Avaliação das despesas de venda, de administração e de financiamento;
- 6) Estabelecimento dos rácios financeiros (coeficientes do capital de giro, do benefício sobre as vendas, etc.);
- 7) Análise da produtividade e da competitividade;
- 8) Análise de densibilidade.

- **Conclusão do estudo de viabilidade**

O estudo de viabilidade deve ser um documento de referência completa. Ela permite fazer uma análise em profundidade do projecto e reavalia-lo caso necessário. Permite tomar uma decisão de princípio quanto a realização do projecto, antes de passar para a 5ª etapa: o estudo de engenharia ou dos projectos executivos (Marcelino, 2019).

CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DA ÁREA EM ESTUDO

2.1. Breve História do Projecto Luaxe

A mina do catoca, 4^o maior kimberlito em exploração no mundo, entrou em operação em 1996. A sociedade mineira de Catoca (SMC), proprietária desta mina (concessão de Catoca), tem como sócios a Endiama (32,8%), a Alrosa (32,8%), a Odebrecht e a Daumonty (%). Em 2004, as reservas da mina estavam avaliadas em (... x10⁶ t, ou seja, 10⁶ quil), com uma duração de vida de 40 anos. A reavaliação das reservas em 2008 situou as mesmas a 210 milhões t, tendo replanificado o ritmo de produção a ...t/ano e uma longevidade (remanescente para a lavra a céu aberto) de 23 anos, isto é, até 2031.

Entretanto, os serviços de planeamento estratégico e desenvolvimento de novos projectos da SMC foram dedicando-se a estudos de diversas opções para garantir a continuação, quiçá o crescimento, da produção após esgotamento das reservas economicamente exploráveis a céu aberto. Na sequência destes estudos, e usando a experiência interna dos seus serviços de geologia e prospecção, a SMC investiu numa vasta campanha de procura de jazigos primários de diamantes começando na própria concessão e estendendo nas concessões vizinhas partindo dos indícios (anomalias) assinalados nas províncias e campos kimberlíticos de potencial constando de relatórios disponíveis nos arquivos da Endiama. É assim que ficou identificado e escolhido o kimberlito Luele na concessão do Luaxe, tendo a empresa tomado a decisão de lançar o projecto em 2006. Pode-se portanto afirmar que este projecto do kimberlito Luaxe nasceu de um processo dedutivo movido pelos serviços de planeamento Estratégico e Desenvolvimento de novos projectos do Catoca no âmbito de seu funcionamento normal. Daí o plano mérito atribuído a esta empresa porta-bandeira da indústria mineira de Angola.

2.2. Localização Geográfica da Mina

A concessão mineira do Luaxe está localizada no município de Saurimo, província da Lunda-Sul, no nordeste de Angola.

O jazigo de Luaxe situa-se a cerca de 25 km ao noroeste de Saurimo, a cidade-sede da província, e a 25 km a sudeste da mina de Catoca. Saurimo dista cerca de 949 km

de Luanda seguindo o itinerário da estrada nacional 230. A concessão possui uma área de 1880 km² tal como indica o mapa de localização na figura 1. Orograficamente, a região da área de concessão representa uma planície monótona, que é a parte leste do planalto da lunda, com a inclinação geral da superfície na direcção do sul ao norte, e com as cotas absolutas de 1078 a 1036 m nos interflúvios e de 1000 a 900 m nos vales dos rios.



Figura 1 - Localização da Mina do Luaxe (SMC, 2019)

2.3. Clima, Fauna e Flora

a. Clima

O clima da região é tropical, tendo duas principais estações típicas durante o ano: a época das chuvas que perdura do final de agosto até os primeiros dias de Maio, e a estação de seca que se prolonga de maio a Agosto. A temporada mais chuvosa incide nos meses de Novembro a Março, quando a precipitação atmosférica diária chega até 53,0 mm. A máxima temperatura registada é de +37,2 á +37,4 °C, a mínima +11,6 á +11,8 °C.

As temperaturas máximas e mínimas incidem na estação seca. A temperatura diária média, durante o ano, constitui +22,5 á 22,8 °C.

De noite e nas madrugadas, costuma-se fazer um pouco mais frio do que no pleno dia, quando a temperatura atinge os seus valores máximos. O intervalo mais quente é das 13 as 15 horas. As direcções predominantes dos ventos, em função da estação do ano, são nor-nordeste e sul-sudoeste, mais raramente norte ou sul. A velocidade média do vento cifra-se em 2,0-2,5 m/s, enquanto os valores máximos vão de 16,6 á 18,4 m/s.

b. Flora

A vegetação da área é representada por savana típica, estepe tropical com uma abundância de cobertura herbácea, raras árvores e arbustos que formam moitas nas bordas dos rios e vales. Nas zonas kimberlíticas, a presença de clareiras típicas de forma circular ou elíptica são bons indicadores de presença de anomalias magnéticas (presença de F_e , N_i , T_i , C_0 , etc.).



Figura 2 - Vegetação da região das Lundas (SMC, 2019)

c. Fauna

A diversidade da fauna compreende mamíferos de grande porte, aves diversas, répteis, batráquios, peixes e numerosos grupos de vertebrados (felídeos, antopolos, coleópteros, fauna do solo, etc.).



Figura 3 - Fauna da região das Lundas (SMC, 2019)

2.4. Hidrografia e Geomorfologia

A rede hidrográfica da região está orientada na direcção Norte e faz parte da bacia da grande artéria fluvial do rio Congo composta pelos rios Luembe, Chicapa, Luachimo, Chiumbe, Luxico e outros que correm sub paralelamente de Sul para Norte. Os vales dos mesmos são em forma de U e V, são impróprios para navegação, mas com fortes potenciais hídricos. A concessão do Luaxe é banhada principalmente pelo rio Luele, afluente esquerda do rio Chicapa e que corta o corpo kimberlítico no seu flanco oriental. Do ponto de vista da geomorfologia, trata-se de uma área de planície monótona bem característica da parte Leste do planalto da Lunda com inclinação superficial geral Sul-Norte.

2.5. Infraestruturas

A área de concessão de Luaxe pode ser acedida directamente pela estrada EN230 através da entrada secundária que liga a cidade de Saurimo a vila de Xacassau (acesso a partir de Camagia), ou então a partir da vila de Catoca via Camagia. Estes acessos beneficiaram de algumas obras de melhoria realizadas pelo Catoca, incluindo terraplanagem, enrelacção de uma ponte metálica para travessia do rio Luele. Via aérea, pode-se contar com os aeródromos de Saurimo e da vila de Catoca.

2.6. Enquadramento Geológico da Área

A presente estrutura situa-se na parte SW do escudo do Cassai, constituída por rochas de base, com formações desde o arcaico até ao proterozóico. Podemos referir que existem também outros complexos de rocha de plataforma, compreendendo o Neo-proterozóico e o paleo-Meso-cenozóico. O complexo do arcaico compreende assim, as rochas da série metamórfica das fácies granulítica e anfibolítica do metamorfismo regional, nomeadamente constituídos por, gnaisses, xistos cristalinos, anfibolitos, e raramente contituídos por:

- a. Eclogitos, quartzitos, leptinitos (rocha metamórfica clara associada a minério escuro) e quartzitos ferruginoso;
- b. Por enderbito (rocha do grupo charnockítico, rica em plagioclase) e tonalitos (granitóide rico em biotite e anfíbolos) da zona de granitização metamórfica;
- c. Por tonalitos, migmatitos, granitos, enderbitos e charnockitos (série magmática e metamórfica do tipo granulito);
- d. Por rochas metassedimentares da fácie anfibolítica e dos xistos verdes.

Dentro dos limites do escudo do cassai, estas rochas metassedimentares referem-se a parte superior do complexo basal, ou também a parte inferior das séries metamórficas do NE de Angola. Conglomerados, xistos, grauvaques e grés. Na parte Sul da mesma região, estão representados por xistos argilosos, quartzitos, arcoses, chertes e gré, cortados por intrusões de gabros e doleritos. Nos estudos efetuados, a informação geológica recolhida ínfima que não existem até ao cretácico, formações geológica na área de Catoca, embora se destaque a existência na parte Norte do escudo de Cassai, de sedimentos do triásico, pertencentes ao sistema karroo e sistema intercontinental.

No Mesozóico, os sedimentos continentais do cretácico, isto é, a formação calonda encontra-se preservada dentro dos limites de base e possuem uma especial importância, dado que é que se encontram os grandes placeres diamantíferos secundários. Estas formações estão situadas mais a Norte, a NE de Angola. Acima destes apresentam-se os sedimentos do Kalahari, com uma plataforma de inclinação para Norte, o qual pode rondar como espessura nesta região os 50 a 150 m nos sedimentos, possivelmente do paleocénio-Eocénio, no terciário, referente ao grupo de Kalahari, são caracterizados por um

desenvolvimento de laterite que se formaram na superfície das peneplanícies depois do Cretácico. As mesmas, então representadas por arenitos polimorfos, e vários tipos de conglomerados de diversas cores como, branco, amarelo, violeta e vermelho. Os sedimentos, provavelmente do Eocénico-Pliocénicos, também no terciário, e pertencentes ao grupo Kalahari, são constituídos essencialmente por areias, argila, e níveis de formações argilo-arenosas e cascalhentas, podendo esta última apresentar algum teor de diamantes. Os sedimentos do quaternário, são essencialmente formações dos fundos de correntes fluviais do tipo aluvial e diluvial, isto é, de lezíria, mas também de vertentes, de terraço, os estes sedimentos são representados por cascalhos, areias, areias argilosas, e cuja espessura pode variar desde os 0,15 cm até mais de uma dezena de metros. As presentes fácies mais cascalhentas de algumas correntes fluviais, como é exemplo do lova no Catoca, entre outros exemplos, podem estar relacionadas com pláceres diamantíferos.

Estas ocorrências kimberlíticas do cretácico, encontram-se numa zona regional de fracturas, chamado corredor de Lucapa e que tem a direcção submeridional, cuja extensão atinge os 1200 km de comprimento e cerca de 55 a 85 km de largura. Na parte sudoeste desta estrutura, para além dos kimberlitos, são muito frequentes os corpos do tipo carbonatítico e de rochas de composição mais alcalina. As intrusões kimberlíticas desta região, localizam-se segundo as zonas de cruzamento das fracturas regionais características, apresentando-se a primeira com direcção NE, e a segunda com uma direcção mais a NW, mas estão ligadas a um sistema de falhas de periferia, hospedado em rochas do pré-câmbrico e recobertos por depósitos sedimentares do meso-cenozóico, segundo Janse e Sheahan (1995).

2.7. Estrutura Geológica do Jazigo

A chaminé Luele do projecto Luaxe como a da Catoca, pertence ao mesmo grupo das intrusões kimberlíticas do cretácico. Apresenta a sua localização na parte Oeste do escudo Cassai, o qual é composto pelo complexo pré-câmbrico. A rocha encaixante da chaminé é constituída essencialmente por gnaisses do pré-câmbrico de diferentes composições e graus de meteorização, onde as rochas sobrejacentes, de cobertura, são sedimentares, da formação de Kalahari. Para além dos kimberlitos propriamente ditos, as rochas Vulcano-sedimentares diamantíferas, da fácies de cratera, estão de certa forma

geneticamente ligadas á formação do próprio corpo mineralizado. Deste modo, a chaminé está representada pelos seguintes tipos principais de rochas:

1. Kimberlitos brechóides maciços;
2. Kimberlitos brechóides autolíticos;
3. Tufos kimberlíticos, brechas tufáceas e gravelitos com intercalações de arenitos tufáceos;
4. Arenitos, tufos areníticos, aleurólitos (siltitos) e argilitos;
5. Rochas kimberlíticas da zona de transição e do substracto do complexo Vulcano;
6. Sedimentar, com os xenólitos de gnaissse encaixantes (zona xenolítica).

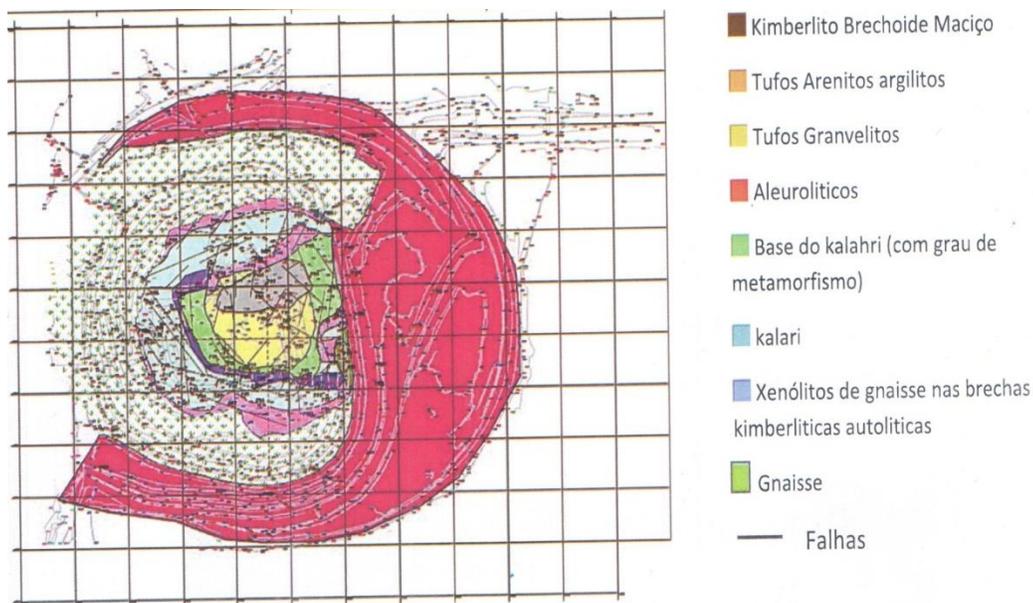


Figura 4 - Carta geológica e tectónica-estrutura do kimberlito Catoca

2.8. Monitorização das Operações e Controlo de Produção

Para a monitorização das operações, prevê-se o uso de um software moderno, no mercado actual se destacam diversos produtos: Smart Mine, dispatch MMS, todos estes sistemas permitem uma gestão integral e em tempo real dos processos de carregamento e transporte da massa mineira, controlar os níveis de produtividade, monitorização e análise dos índices chave do desempenho de cada máquina e operador, bem como o processamento automático da produção.

Os painéis de controlo dos equipamentos estão assim conectados aos computadores da sala de despacho central das operações. Em particular, os consumos e

níveis de combustível de cada equipamento são monitorados, podendo assim programar adequadamente o reabastecimento de combustível. Idem para as horas de marcha e a programação da manutenção preventiva, a detecção de anomalias graves e a consequente programação da manutenção correctiva. Além deste sistema, existe uma equipa especializada de engenheiros que desenvolvem as operações mineiras, elaboram os planos estratégicos da mina, dos recursos necessários a produção (tecnológicas, matérias, financeiros e humanos) e realizam estudos de desenvolvimento do sistema de mineração.

2.9. Vida Útil da Mina

Existe uma certa relação entre o volume das reservas prospectadas e o prazo de exploração das mesmas para uma empresa mineira recém-criada. Na prática mundial de projecção o prazo razoável de exploração de minas (**T**) em primeira aproximação pode ser determinado pela fórmula de Taylor (BERNARDO, 2019).

$$P = 0,15 * R^{0,75} * (1 \pm 2) \text{ milhões de toneladas/ano.} \quad (1)$$

Conhecendo a produção anual de minério (P), a vida útil do projecto (V) pode ser calculada da seguinte forma:

$$V = \left(\frac{\text{Reserva}}{\text{Ritmo_de_Produção}} \right) = \left(\frac{R}{P} \right), \text{ Anos} \quad (2)$$

Onde:

R – Reservas exploráveis da Mina, t;

P – Ritmo de exploração, t/ano

V – vida útil da Mina (prazo racional de exploração de reservas), anos.

CAPÍTULO III - EQUIPAMENTOS DE CARGA E TRANSPORTE

3.1 Camião Fora de Estrada

Para a exploração de matérias-primas minerais, nas minas quer a céu aberto como subterrâneo tem havido problemas de transportação do minério/estéril da frente de lavra até a central de tratamento/escombreira; estes põem em causa a possibilidade de se definir um meio que se adequa a uma melhor planificação e produtividade.

Os camiões fora de estrada ou *off-highway trucks* do inglês, são equipamentos amplamente utilizados para a movimentação de grandes quantidades de materiais. É um equipamento aplicado nos serviços pesados de construção e principalmente no transporte de minério de ferro nas minas a céu aberto.

Para Borges (2013), a combinação do camião com uma escavadeira ou pá carregadeira perfeita agiliza a operação de transporte de minério até os britadores distribuídos pela mina, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção.

Segundo o Ricardo e Catalani (2007) os camiões fora de estrada são equipamentos famosos pela sua grande capacidade, força e tamanho que fogem do comum, não sendo possível a sua utilização nas rodovias ou em ruas do nosso quotidiano, e que possuem características mecânicas de fabricação especiais para o trabalho pesado. A sua configuração é formada basicamente por um chassi, pelo trem de força, por sistemas de suspensão de freio hidráulico e balde.



Figura 5 - Camião fora de estrada (Catálogo Caterpillar, 2012)

Segundo Lopes (2010), os camiões acompanharam o porte das escavadeiras, mas por falta de tecnologia foram barrados pelo tamanho dos pneus, mas nas últimas décadas a tecnologia de fabricação dos pneus avançou conduzindo um crescimento no tamanho dos camiões fora de estrada para as capacidades actuais de produção.

Pode-se encontrar no mercado diferentes fabricantes de camião fora de estrada, com modelos com capacidade de carregamento que vão de 20 toneladas a patamares maiores que 450 toneladas, com diferentes modelos de pneus e básculas para adequar as necessidades da actividade. O sistema de tracção dos camiões pode ser de forma mecânica ou diesel-eléctrica. Na figura abaixo é mostrado algumas medidas de um modelo de camião, mostrando toda a sua robustez.

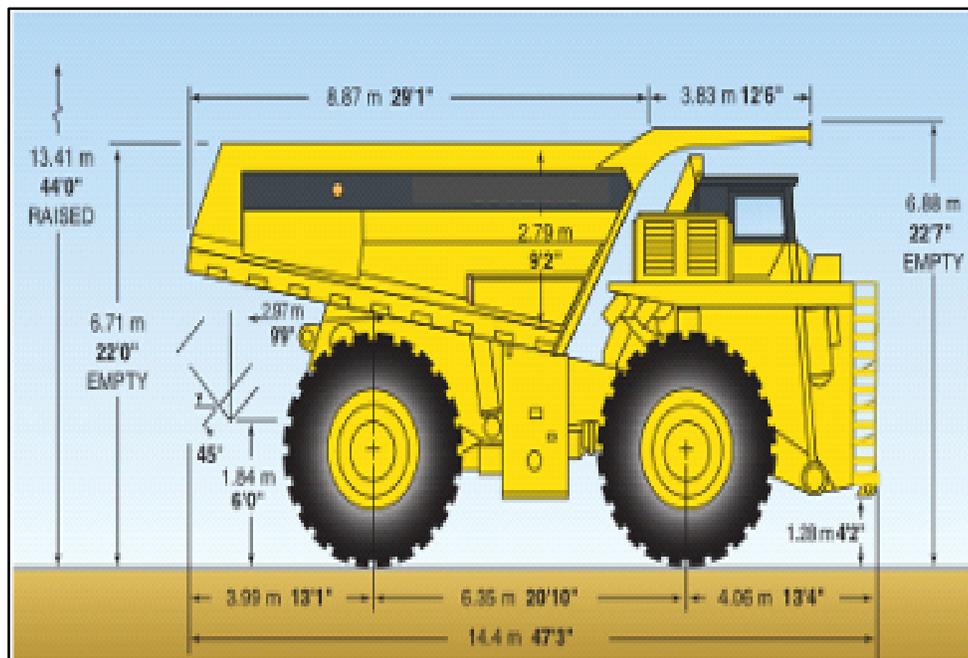


Figura 6 - Medidas do camião fora de estrada (Catálogo Kamatsu, 2012)

3.2 Selecção de Equipamentos de Carga e Transporte

Para a selecção do melhor conjunto de equipamentos a ser adquirido em um projecto de mineração, são propostas algumas ferramentas económicas para a selecção de projectos. Para fins de análise, os projectos considerados possuem igual capacidade produtiva.

Segundo Costa (1979), «após a determinação dos conjuntos de equipamentos de carga e transporte possíveis de operar no projecto da mina, uma técnica muito empregada

é a determinação do Valor Presente Líquido (VPL) de cada uma das alternativas durante toda a vida útil da mina, considerando os custos de operação, manutenção e volume de material transportado».

Os alimentadores da britagem devem possuir capacidade de absorver os picos de alimentação e também grande percentagem de finos, que devem ser identificados através da análise da curva de distribuição granulométrica da alimentação da britagem através de testes específicos. Para obter uma taxa maior de alimentação, os britadores podem ser adaptados com dois alimentadores (SCHRÖDER, 2003).

3.2.1 Critérios para a Selecção de Equipamentos de Transporte

Para a selecção de equipamentos de transporte, existem vários elementos baseados em requisitos de produção determinados. De seguida são seleccionados em função do tipo e da capacidade do camião e com base nos critérios de quantidade e qualidade, que são os seguintes:

a) Critérios de quantidade

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

b) Critérios de qualidade

Na opinião de SILVA (2009), as principais considerações na selecção primária dos equipamentos são:

- Geologia do depósito;
- Metas de produção;
- Vida útil do projecto;
- Disponibilidade de capital;
- Custo de operação;
- Parâmetros geotécnicos;

- Retorno de investimentos;
- Interferências com o meio ambiente.

Porém, para uma escolha acertada na selecção de equipamentos de carregamento e transporte, esses devem ser seleccionados de forma integrada, a fim de aumentar a compatibilidade entre estes, optimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção.

3.3 Dimensionamento e Compatibilização do Porte de Equipamentos

Segundo Silva (2009), uma vez seleccionados os tipos de equipamentos que atendam às condições específicas do trabalho, é importante que se seleccione 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, basear-se em restrições físicas, como por exemplo, as seguintes.

- A altura da bancada (H), condicionando o porte do equipamento de carregamento:
 1. Pá carregadeira: $H = 5 \text{ a } 15 \text{ m}$;
 2. Escavadeira hidráulica: $H = 4 + 0,45cb \text{ (m)}$; **(3)**
 3. Escavadeira a cabo: $H = 10 + 0,57 (cb - 6) \text{ (m)}$.

Onde:

Cb - capacidade do balde em m^3 .

O 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 factores que irão afectar directamente a eficiência da operação, tais como o número de passes do equipamento de carregamento para encher o equipamento de transporte.

Considera-se que a quantidade de 3 a 5 passes representa um bom equilíbrio. Um número menor seria preferível, contanto que:

- O tamanho do balde da unidade de transporte não seja muito pequeno em comparação com o tamanho do balde da unidade de carregamento, resultando em impactos sobre a suspensão e a estrutura do veículo e derramamento excessivo da carga;
- 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;
- 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; se o contrário é provável que ocorram filas dos equipamentos de transporte;
- O número excessivo de unidades da frota não ocasione dificuldades de tráfego e manutenção (SILVA, 2009).

3.4 Dimensionamento de Frota de Equipamentos de Carga e Transporte na Mina

Nos últimos cinquenta anos, os equipamentos da mina em geral e particularmente os caminhões, tiveram acréscimo considerável de tamanho e capacidade. Por exemplos, os caminhões de 380 t de hoje, são em torno de dez vezes maior que os caminhões de 35 t dos anos cinquenta, do século passado. Para cada período de dez anos, teve um acréscimo de 50% na capacidade de carga dos caminhões. Experiencia que tem mostrado que o aumento da escala dos caminhões, reduziu os custos totais pelo incremento da produtividade nas grandes minas. No final do século XX, quando os minerais estavam enfrentando declínios nos preços, implementação de maiores equipamentos tornou-se a forma mais adequada para diminuir o custo unitário.

Na selecção de equipamentos da mina, o tipo, tamanho e número de unidades são considerações importantes, e estes três itens são fortemente interdependentes.

Independentemente do método utilizado, o objectivo da selecção de equipamentos no processo é satisfazer os requisitos de taxa de produção, minimizando o custo da mineração. A primeira e a mais importante consideração no processo de selecção de tamanho é a taxa de produção diária. Isto é geralmente determinado por analisar as

reservas, os mercados, empresas estratégica de produção e do período de retorno esperado. Assumindo uma taxa de produção diária combinada com trabalho de eficiência dos operadores, a utilização da disponibilidade (de equipamentos), os tamanhos dos equipamentos de mineração são determinados. Em seguida, o tamanho deste irá influenciar nos custos de mineração, que eventualmente afectarão a localização e dimensão da mina.

As dimensões de uma máquina e a sua taxa de produção são factores importantes para o dimensionamento do equipamento. A velocidade de cada componente de uma escavação, ciclo e dimensões, tais como altura de despejo, influenciam na produtividade do equipamento de carregamento, e também deve ser levado em consideração.

A selecção de equipamento para aplicação de 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 selecção dos equipamentos mais adequados. As características do minério, condições climática e a disposição dos depósitos são algumas das variáveis que podem definir entre minas, mesmo essas contendo o mesmo tipo de minério.

Assim, a exploração mineira selectiva, confiável, produtiva e flexível são factores essenciais que para selecção da carregadeira. O tamanho das máquinas de transporte influenciam directamente no arranjo da mina. O carregamento e transporte, devem ser adequadamente correspondidos. Os custos de transporte são geralmente maiores que a selecção dos camiões. A figura a baixo representa um diagrama esquemático com algumas das principais considerações para a selecção de equipamento e factores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos.



Figura 7 - Selecção de equipamentos e factores sensíveis ao dimensionamento dos equipamentos (BOZORGEBRAHIMI, HALL and BLACKWELL, 2003)

3.5 Produtividade das Frotas de Carregamento e Transporte

Para Silva (2009), a produtividade das frotas de carregamento e transporte, na mineração a céu aberto, depende de que o projecto e o planeamento de lavra sejam adequados à jazida e de que os equipamentos seleccionados estejam ajustados às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. Assim, o tipo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade dependem de:

- Porte das jazidas: vida da mina, taxa de produção, método de lavra;
- Projecto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, desnível entre as frentes de lavra e o destino dos camiões;

- Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “*in-situ*”, empolamento, unidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- Projecto da deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;
- Projectos das estradas: largura das estradas (recomenda-se uma largura mínima de pista igual a 3,5 vezes a largura do camião, o que deixa uma faixa igual a meio camião 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 das rampas de acesso, raio das curvas, superfície de rolamento;
- Planeamento de lavra: número de frentes simultâneas, relação estéril/minério, frequência de deslocamento das frentes de lavra;
- Destino do minério: distância, tipo, dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério do camião, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros;
- Infra-estrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc;
- Equipamento para demais operações: manutenção das estradas e frentes de lavra, desmonte de minério e do estéril etc.

3.5.1. Cálculos Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos

Como forma de auxílio à tomada de decisão e ferramenta ao planeamento dos sistemas de carregamento e transporte, e dimensionamento de frotas, os cálculos de estimativa de produtividade dos equipamentos de mineração são indispensáveis no processo de selecção de equipamentos. Para os cálculos de estimativa de produção é necessário considerar alguns conceitos fundamentais, listados e descritos por SILVA (2009):

$$MT = ROM + (ROM \times REM) \quad (4)$$

Onde:

MT: Movimentação total de material;

ROM: Movimentação de minério;

REM: Relação estéril/minério.

DMT_{global}: foi calculada pela seguinte fórmula;

$$DMT_{global} = \frac{(DMT_{Tron} \times MASSA_{Ar}) + (DMT_{Estéril} \times MASSA_{Estéril})}{Movimentação_{Total}} \quad (5)$$

Considera-se como velocidades de tráfego de caminhões na mina uma velocidade com veículo carregado de 20 km/h, e vazio de 26 km/h. A velocidade média dos caminhões é calculada da seguinte maneira: (Augusto Lages, 2018)

$$V_m = \frac{(DMT_m + DMT_e) \times 2}{\frac{DMT_m}{V_c} + \frac{DMT_m}{V_v} + \frac{DMT_e}{V_c} + \frac{DMT_e}{V_v}} \quad (6)$$

Onde:

- DMT_m: Distância média de transporte de minério;
- DMT_e: Distância média de transporte de estéril;
- V_c: Velocidade do caminhão carregado;
- V_v: Velocidade do caminhão vazia;
- V_m: Velocidade do caminhão média.

Segundo Martins (2013), «a utilização física média da frota de caminhões de Brucutu é de 86.7%, e a disponibilidade física dos mesmos é de 88,81%». Com essas informações, é possível determinar a eficiência operacional da seguinte maneira:

$$EO = UG \times DF \quad (7)$$

Onde:

- UG: Utilização Global;
- DF: Disponibilidade Física;
- EO: Eficiência Operacional.

Considerando que a mina opera 24 horas por dia, todos os dias da semana, determina-se o número de horas trabalhadas por ano através da fórmula:

$$\frac{h}{ano} = \frac{turnos}{dia} \times \frac{horas}{turno} \times \frac{dias}{semanas} \times EC \quad (8)$$

Transportação horária de material (Tph) é calculada pela fórmula:

Os veículos de carregamento e transporte utilizados para o estudo de dimensionamento são caminhões e escavadeiras hidráulicas da Caterpillar. As capacidades de carregamento e transporte e o modelo dos equipamentos são apresentados nas tabelas a seguir e ver as figuras no anexo.

Tabela 1 - Capacidade dos camioes fora de estrada Caterpillar

Modelo camião	Cat 770	Cat 772	Cat 775	Cat 777	Cat 785	Cat 789	Cat 793	Cat 795	Cat 797
Capacidade (t)	40	50	70	100	150	200	250	345	400
Caçamba m³	25	30	42	62	85	108	170	213	250

Fonte: (Lages, 2018)

Tabela 2 - Capacidade das escavadeiras hidráulicas Caterpillar

Modelo escavadeira	Cat 6015	Cat 6018	Cat 6030	Cat 6040	Cat 6050	Cat 6060	Cat 6090
Capacidade (m³)	7	10	17	22	28	34	52

Fonte: (Lages, 2018)

O tempo de ciclo de caminhões leva em consideração o tempo que o camião levou para transportar o material ao local de descarga (T_c), o tempo gasto para retornar vazio até o local de carregamento (T_v), e tempos fixos gastos em filas, manobras, posicionamento, Carregamento e basculamento (T_f). O T_f considerado para todas as frotas é de 12 minutos, considerado um tempo aceitável para essas actividades citadas. (Augusto Lages, 2018)

Assim, o cálculo do tempo de ciclo dos caminhões levando em consideração a DMT e a velocidade média de transporte é calculado da seguinte maneira:

$$T_c = \frac{DMT}{V_m} \times 2 + t_f \quad (9)$$

Onde:

- T_c : Tempo de ciclo;
- DMT: Distância média de transporte;
- V_m : Velocidade média;
- T_f : Tempos fixos.

Para determinar teóricamente a quantidade de caminhões necessários para operar numa mina considerando a movimentação horária de material, a seguinte sequência de cálculos foi realizada:

$$\text{Número de viagens por hora} = \frac{\text{Capacidade do caminhão}}{\text{Movimentação horária de material}} \quad (10)$$

$$\text{Ciclos por hora} = \frac{60(\text{min})}{\text{Tempo de ciclo do caminhão (min)}} \quad (11)$$

$$\text{Número de caminhões} = \frac{\text{N.º de viagens por hora}}{\text{ciclos por hora}} \quad (12)$$

Para uma escavadeira, o tempo de ciclo normalmente consiste na soma dos tempos de carregamento, tempo de rotação do balde carregado, tempo de basculamento e tempo de rotação do balde descarregado. O tempo total de ciclo da escavadeira também é conhecido como de tempo de passe, e irá depender do tamanho da máquina, das condições operacionais e da habilidade do operador. De acordo com a Caterpillar, o tempo de ciclo de determinada escavadeira pode variar dependendo das seguintes condições: (Lages, 2018)

- Condições ideais de carregamento: Material solto, solo, sem esforço para alcançar um bom enchimento da caçamba. A pá consegue penetrar facilmente no material.
- Condições moderadas de carregamento: Material macio com baixo grau de compactação e bom grau de fragmentação. Operador não precisa preocupar-se em escolher o melhor local para escavar.
- Condições moderadas de escavação: Solo mais duro ou compactado requerendo do operador mais esforço para encher o balde correctamente.
- Condições de escavação severas: Rocha não homogênea com presença de fragmentos de rochas maiores. Considerável esforço para romper o material.

Para calcular a quantidade de escavadeiras foi realizado a seguinte sequência de cálculos:

$$\text{Nº de passes por caminhão} = \frac{\text{capacidade do caminhão (m}^3\text{)}}{\text{capacidade da escavadeira (m}^3\text{)}} \quad (13)$$

Tempo de carregamento (T_{ca}):

$$T_{Ca} = \text{Tempo por passes} \times \text{Nº de passes}$$

$$\text{Número de carregamento por hora} = \frac{3600(s)}{\text{Tempo de carregamento}(s)} \quad (14)$$

$$\text{Número de escavadeiras} = \frac{N.º \text{ de viagens por hora}}{N.º \text{ de carregamentos por hora}} \times 1,3 \quad (15)$$

O factor de 1.3 acrescentado ao cálculo do número de escavadeiras é uma estimativa razoável a ser considerada quando não houver informações suficientes para estimar de maneira precisa os tempos perdidos nos carregamentos associados às manobras dos camiões e ao reposicionamento da máquina.

Após determinar a quantidade de escavadeiras necessárias para cada frota de camiões, foi preciso definir se determinada escavadeira é ou não compatível com determinado modelo de camião. A definição das combinações entre os veículos de carregamento e transporte foi determinada pelo número de passes necessários para encher um camião.

Considerou-se que uma escavadeira seria compatível com um modelo de camião caso fosse capaz de enche-lo com 3 a 5 passes, quantidade que representa um bom equilíbrio convencionalmente.

O Manual de Desempenho da Caterpillar (2012) e o Caterpillar Performance Handbook (2014) informam os consumos de combustível de cada um dos modelos de camiões e escavadeiras hidráulicas. Tanto para as escavadeiras quanto para os camiões, o consumo pode variar entre baixo, médio e alto.

Escavadeiras hidráulicas:

- Baixo consumo: Trabalho leve com quantidade considerável de marcha lenta.
- Médio consumo: Operações de carregamento contínuo com períodos de inactividade; (aplica-se à grande parte das aplicações).
- Alto consumo: Operações contínuas de dura escavação com períodos de marcha lenta raros.

Camiões fora de Estrada:

- Baixo consumo: Operação contínua com peso bruto médio inferior ao recomendado. Excelentes condições das vias de transporte, e baixo factor de carga.

- Médio consumo: Operação contínua com aproximação de peso bruto próxima à recomendada. Boas condições das vias de transporte e factor de carga moderado.
- Alto consumo: Operação contínua no peso bruto máximo recomendado ou acima disso.
- Condições ruins das estradas e alto factor de carga.

Para o cálculo do consumo de diesel de cada modelo de camião e escavadeira considerou-se o factor de consumo médio e realizou-se a média entre os valores apresentados para esse factor. A unidade considerada para o cálculo foi o litro e o preço do diesel considerado no cálculo dos custos. Dessa forma, o cálculo dos custos de combustível das frotas de camiões e escavadeiras foi feito da seguinte maneira:

$$\text{Custo de combustível} = \text{N}^{\circ} \text{ de veículos} \times \text{consumo} \left(\frac{\text{litros}}{\text{horas}} \right) \times \text{preço do diesel} \left(\frac{\text{valor monetário}}{\text{litro}} \right)$$

(16)

O consumo de pneus dos camiões é outro factor de extrema importância a ser considerado nos custos operacionais da operação de transporte em minas a céu aberto. Na determinação dos custos de pneu para cada modelo de camião fora de estrada, utilizou-se como referência pneus da marca Michelin do site Otrusa, que informa o preço de cada modelo de pneu utilizado pelos camiões fora de estrada. Considerou-se também que cada pneu teria 3 vidas úteis, sendo a primeira vida útil de 3000 horas, a segunda de 2000 horas e a terceira de 1745 horas. Para determinar os custos de reparos dos pneus após cada vida útil, considerou-se como premissa, o valor de 30% sobre os custos total da troca por pneus novos. Com o resultado do cálculo de números de horas trabalhadas ao ano por cada camião. Considerou-se que os pneus de cada veículo passassem por 3 reparos anuais e fossem trocados uma vez no final do ano.

$$\text{Custo de pneu} \left(\frac{\text{moeda}}{h} \right) = \text{N}^{\circ} \text{ de camiões} \times \left(\frac{\text{custo de reparo} + \text{custo de troca}}{\text{N}^{\circ} \text{ de horas trabalhadas}} \right) \quad (17)$$

CAPÍTULO IV - OPERAÇÃO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE NA LAVRA A CÉU ABERTO

4.1 Sistemas de Transporte na Lavra a Céu Aberto

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

Na opinião de Quevedo (2009), «*em minas a céu aberto as actividades 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 de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes de lavra*».

Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, camiões, 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.

Na mineração existem vários métodos e sistemas de transporte de material, entretanto os mais comuns são o transporte por camiões que serão detalhados a seguir.

4.2 Camiões Diesel

O trem de força dos camiões de tracção mecânica é formado basicamente pelos seguintes componentes: motor diesel, conversor de torque, eixo cardan, engrenagens de transferências, diferencial, e os comandos finais, como pode ser visto na Figura 8 abaixo.

O princípio de funcionamento do trem de força dos camiões mecânicos se desenvolve da seguinte forma, o motor diesel em funcionamento gira um conversor de torque que está em linha com a saída do motor diesel.

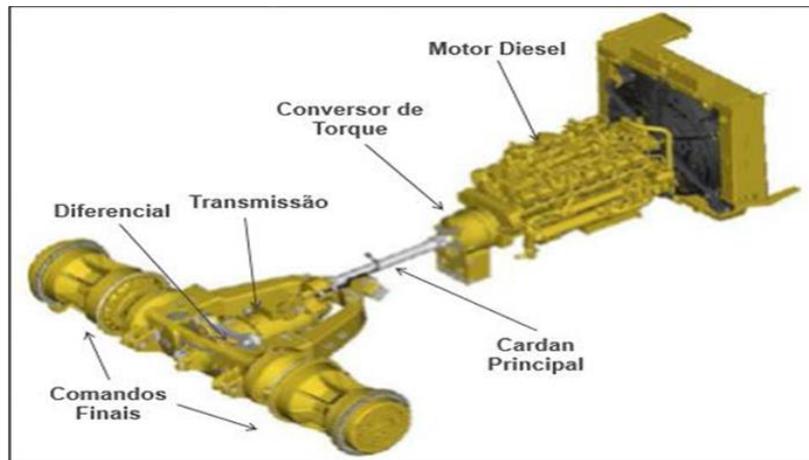


Figura 8 - Trem de Força Mecânico (Pereira, 2019)

O conversor de torque de acordo com a Sotreq (2004), é um acoplamento hidráulico que realiza a transmissão de potência do motor para a transmissão sem haver contacto mecânico. O conversor é formado por um impulsor que está ligado ao volante do motor, que ao realizar o movimento de rotação impulsiona o fluido, contido dentro do conversor, com uma energia muito alta contra as pás da turbina que está acoplada ao eixo de saída, fazendo a turbina girar e transmitindo a potência para o eixo cardan. Entre o impulsor e a turbina existe um estator que é responsável por redirecionar o fluido em sentido favorável ao impulsor, multiplicando sua capacidade de torque.

Conforme Sotreq (2004), o aumento de torque só é perceptível quando se há uma solicitação de carga, quando essa solicitação deixa de existir o impulsor e a turbina passam a ter a mesma rotação, devido uma embreagem existente no conjunto. Em Caterpillar (2006), é descrito que em velocidades baixas, (menores que 8 Km/h), o conversor de torque está em funcionamento fazendo a multiplicação do toque e também nas mudanças de marchas fazendo-as de forma mais suave, com o aumento da velocidade uma embreagem é acionada fornecendo mais potências as rodas.

4.2.1 Lavra com Transporte por Camiões Diesel

Constituem o meio de transporte mais frequente nas explorações a céu aberto. Sua combinação com a pá carregadeira ou algum tipo de escavadeira é característica da maior parte das explorações a céu aberto. São equipamentos que deverão ser utilizados para médias e grandes distâncias de transporte em virtude das

velocidades relativamente elevadas que podem atingir, permitindo obter elevadas capacidades produtivas a baixos custos (DANILO OTÁVIO et al, 2015).

Os sistemas de transmissão e o tipo de pneus têm uma influência muito decisiva no rendimento e comportamento destas máquinas. A selecção dos diversos tipos de dimensões destes veículos de transporte irá depender principalmente das distâncias, do volume a remover, do grau de fragmentação dos produtos, das características das vias e rochas transportadas, das dimensões dos locais de carga e descarga, e também dos próprios equipamentos de carregamento utilizados (DANILO OTÁVIO et al, 2015).

Actualmente o mercado oferece camiões com capacidades variando de 10 toneladas a 400 toneladas, ilustrado na Figura 09, e escavadeiras compatíveis para o carregamento eficiente dos mesmos.

A aplicação e o porte do conjunto de carga e transporte estão inteiramente ligados à escala de produção, geometrias da cava e geologia da jazida.



Figura 9 - Evolução do tamanho dos camiões fora-de-estrada (Lopes, 2010).

No estudo dos tempos e movimentos característicos do método convencional por camiões, esses são divididos 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. A distância de transporte está directamente ligada ao tempo de ciclo por viagem dos camiões que por consequência reflecte a produtividade da

frota. E relação entre a capacidade produtiva em toneladas normais por hora de operação pela distância de transporte percorrida (THIAGO BORGES, 2013).

Para Thiago borges (2013), «*para manter uma produção constante requerida ao longo do tempo de vida das minas, pode-se tomar mais de duas acções: aumentar o número de camiões da frota ou alterar o modelo por capacidades maiores mantendo o mesmo número de camiões anteriores. O tamanho do equipamento de carga poderá ou não acompanhar o aumento da capacidade dos camiões*».

4.3 Vantagens da Lavra com Transporte por Camiões Diesel

Segundo Thiago Borges (2013), são vantagens da lavra com transporte por camiões:

- Alta flexibilidade operacional especialmente quando a lavra selectiva é exigida. O equipamento pode ser transferido para outras frentes de operação conforme necessidade dos planos de lavra;
- A lavra pode ocorrer simultaneamente em vários níveis, facilitando a “blendagem” do material, garantindo a qualidade;
- Os camiões podem ser deslocados para a operação no estéril quando a estação de tratamento que recebe o minério dos camiões estiver parada;
- Menor variação nos teores médios da jazida devido à possibilidade de verticalização da mina;
- Facilidade de contratação de mão-de-obra no mercado de trabalho devido à predominância do método por camiões nas minas a céu aberto;
- Tempo de “posto-em-marcha” reduzido. Os camiões 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 camiões comecem as operações são reduzidos, pois assim que são montados e iniciam as operações a continuação 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 actividade até um limite mínimo económico de camiões operando simultaneamente;

- Pode-se manter a frota em operação, mesmo quando o silo de descarga estiver paralisado, construindo pilhas reservas estratégicas próximo às estações de descarga, para retomada posterior, quando a frota não puder operar normalmente;
- O casamento das operações conjugadas com escavadeiras (shovel ou backhoe), e carregadeiras (esteiras ou pneumáticos), pode ser alterado, caso as dimensões sejam compatíveis, aumentando as opções de carregamento;
- Agilidade na evacuação dos equipamentos das áreas de risco iminente.

4.4 Desvantagens da Lavra com Transporte por Camiões Diesel

Para Lopes (2010), são desvantagens da lavra com transporte por camiões diesel:

- 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 actividade 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;
- Custo elevado para a abertura e conservação das vias de acesso dos camiões;
- Redução e às vezes paralisação das operações devido a chuvas e neblinas que causam instabilidade de tracção e baixa visibilidade;
- Necessidade de equipamento de apoio para umectação de vias de acesso com o objectivo de reduzir a poeira (sólidos em suspensão no ar), garantindo a boa visibilidade para o operador e a redução do impacto ambiental da actividade;
- O aumento da distância de transporte implica em aditivo no número de camiões da frota necessário para garantir a produção desejada ou ampliação do porte unitário com aquisição de camiões de maior capacidade de transporte de carga.

4.5 Camião fora de estrada da Série 795 f

Independentemente da carga transportada – cobre, carvão, ouro, minério/estéril – o 795F oferece o melhor custo por unidade de produção do sector, incluindo as melhorias em segurança, produtividade, facilidade de manutenção e conforto.

O camião fora-de-estrada 795F AC foi planeado para desempenho, projectado e fabricado para durar. Desenvolvido especificamente para aplicações de mineração e de construção de elevada produção, o camião fora-de-estrada 795F AC mantém o material em movimento com alto volume para reduzir seus custos por tonelada. Sua estrutura sólida cria um veículo durável. Procedimentos fáceis de manutenção garantem alta confiabilidade e longa vida útil com baixos custos operacionais. O sistema de accionamento de AC cat oferece o melhor retardo, frenagem e controle da indústria. Projectado e fabricado pela Caterpillar, o 795 é o primeiro camião de accionamento eléctrico do AC que é fornecido por um único fabricante e suportado pela melhor rede de revendedores da indústria.



Figura 10 - Camião fora-de-estrada da série 795 F, Cat

- **Manutenção Aprimorada**

Pontos de manutenção aprimorados e locais de serviço agrupados significam que o seu camião passa mais tempo na estrada que na oficina.

- **Transmissão Power Shift**

Uma transmissão com seis velocidades de marcha suave que utiliza o ECPC proporciona aos operadores direcção confortável, potência constante e maior eficiência de combustível.

- **Sistema de Accionamento Mecânico Confiável**

O trem de força do 795F oferece a você o camião mais veloz em de clives acentuados, condições de solo ruim e em estradas de transporte com alta resistência de rolamento.

- **Frenagem Robusta**

Os freios de discos múltiplos Cat arrefecidos a óleo nas quatro rodas garantem excelente frenagem sem perda de eficiência.

- **Cabina Confortável**

A cabina grande e espaçosa oferece visibilidade inigualável e conforto excepcional para os operadores.

- **Balde do Camião**

Uma variedade de caçambas projectadas e fabricadas pela Caterpillar oferece a você excelente desempenho e confiabilidade.

- **Sistemas de baldes dos Camiões**

Projectados e construídos para desempenho robusto e confiabilidade.

- **Baldes de Camiões Cat**

Você possui três opções do balde com o 795F: Balde X, MSD II (Mine Especifica Design, Projecto Específico para Minas) e balde para Carvão sem Porta. Esses baldes foram especialmente projectadas para trabalhar em conjunto com o chassi Cat a fim de proporcionar desempenho estrutural superior.

1 – Balde X (ver anexo 1)

Se você possui uma nova mina ou uma mina de contratação, o balde X é a opção certa para você. Ela usa o Projecto Específico para Minas da Cat para criar um balde no tamanho adequado e configurada para atender aos requisitos específicos de aplicações severas. O design do balde X oferece maior volume sem prejuízo no peso.

2 – MSD II (ver anexo 2)

Os baldes MSD II destinam-se a minas estabelecidas e são personalizadas para ajustarem-se a aplicações específicas de mineração com base em uma avaliação do

local de mineração. A MSD II é a melhor balde de peso leve já fabricada para aplicações de mineração e atinge excelente desempenho de carga útil.

3 – Balde para Carvão sem Porta (ver anexo 3)

O balde para Carvão sem Porta destina-se a aplicações de transporte de carvão. É possível carregá-la para alcançar a carga útil alvo dentre toda a variedade de densidades de carvão. O balde é projectada e fabricada com a utilização do conceito de balde MSD II, assegurando durabilidade e confiabilidade superiores.

4.6 Camião Diesel-Eléctrico

Os camiões de tração diesel-eléctrico são equipamentos que possuem um sistema de trem de força formados pelos seguintes componentes: motor diesel, alternador, soprador, gabinete de controlo, sistema de arrefecimento, caixa de resistências, cabos eléctricos e as rodas motorizadas. Conforme mostra na Figura 11

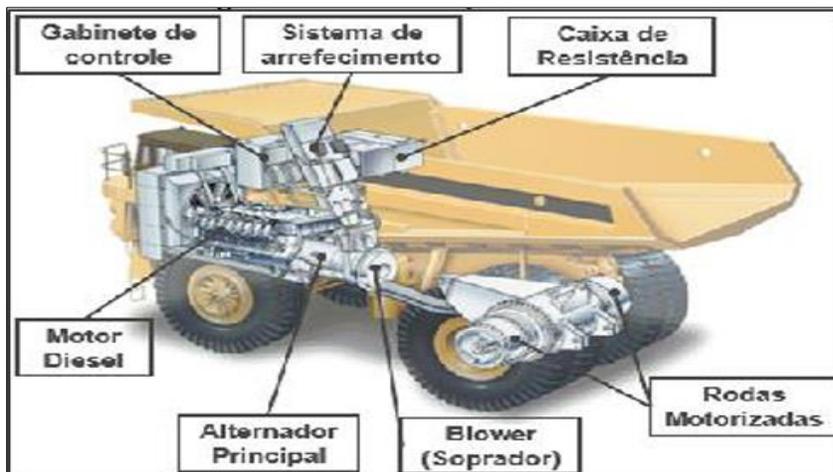


Figura 11 - Trem de Força Diesel-Eléctrico (Pereira, 2019)

No manual de oficina Komatsu (2006), é mostrado como é o funcionamento do sistema de tração destes camiões durante a propulsão. O manual mostra que o motor diesel, em funcionamento, aciona um alternador que está em linha com a rotação do motor, que por sua vez produz uma corrente alternada (CA) que é transmitida para dentro do gabinete principal.

Dentro do gabinete principal a energia gerada é retificada para corrente contínua (CC) que volta a ser convertida para CA através dos inversores, após estas conversões o

gabinete fornece a energia eléctrica gerada controlada para os dois motores das rodas traseiras fixados à carcaça do eixo.

Na saída do alternador é acoplado em linha um conjunto de ventiladores duplos (soprador), este soprador é responsável por proporcionar ar de arrefecimento para os motores das rodas, para o sistema de controlo e caixa de resistores. O sistema de freio destes camiões é atuado de forma inteiramente hidráulica, onde pressionando o pedal de freio é acionado um único disco de freio em cada uma das rodas dianteiras reduzindo a velocidade, e nos freios traseiros são acionados dois discos de velocidade de armadura.

Os camiões diesel-eléctricos são equipados também com um sistema de retardo dinâmico, que segundo Komatsu (2006), é responsável por desacelerar o caminhão em circunstâncias normais de operação ou para o controlo de velocidade em descidas. Quando o operador retira o pé do acelerador os motores eléctricos das rodas são girados através da inércia das rodas, fazendo os motores virarem geradores eléctricos.

A energia gerada e transferida para o painel de controlo que vai acumular a energia gerada nos capacitores, o excedente dessa energia acumulada vai para o gerador fazendo-o virar um motor eléctrico, sendo electronicamente cortado o diesel do motor, que passa a ser girado pelo gerador, que por fim vai fazer o funcionamento dos sistemas auxiliares. Toda a energia excedente que não deu para acumular e girar o motor diesel é enviado para a caixa de resistência para fazer a sua dissipação em forma de calor. Na Figura 12 é possível visualizar o esquema de retardo.

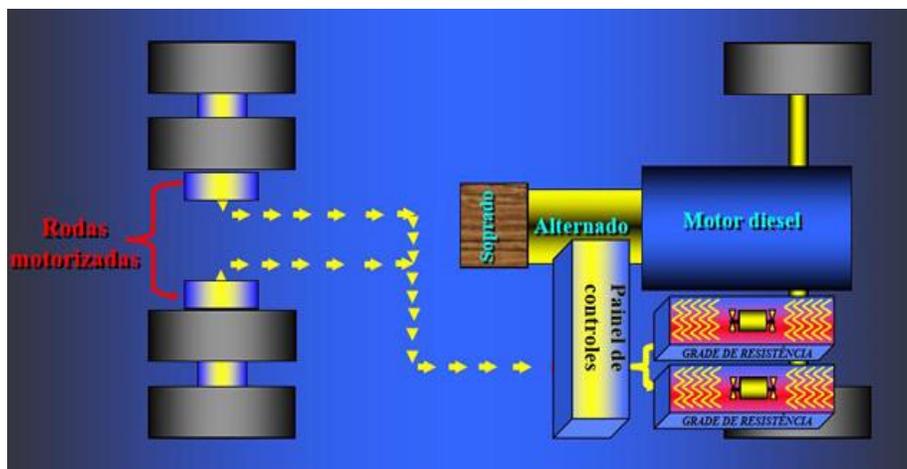


Figura 12 - Esquema de retardo dinâmico (Pereira, 2019)

No estudo é esperado que os caminhões diesel-eléctrico tenham um consumo de combustível menor que os caminhões de tracção inteiramente mecânica, devido a melhor eficiência prometida pelo fabricante do modelo.

4.7 Sistema de Transporte com Camiões Diesel-Eléctricos

Tratando-se de mineração a céu aberto, as actividades iniciam com a preparação da área a ser minada para perfuração e desmonte. Após estas etapas, o equipamento de carga desloca-se para a frente de mina, e inicia o processo de carregamento e transporte. Os caminhões carregados transportam o material até pontos determinados de descarga: britadores, estoques de minério e pilhas de estéril. Em seguida são alocados para nova frente de mina disponível, onde repetirão as mesmas operações. Em resumo, o ciclo de um caminhão é composto pelas seguintes etapas: carregamento, deslocamento cheio, descarregamento e deslocamento vazio.

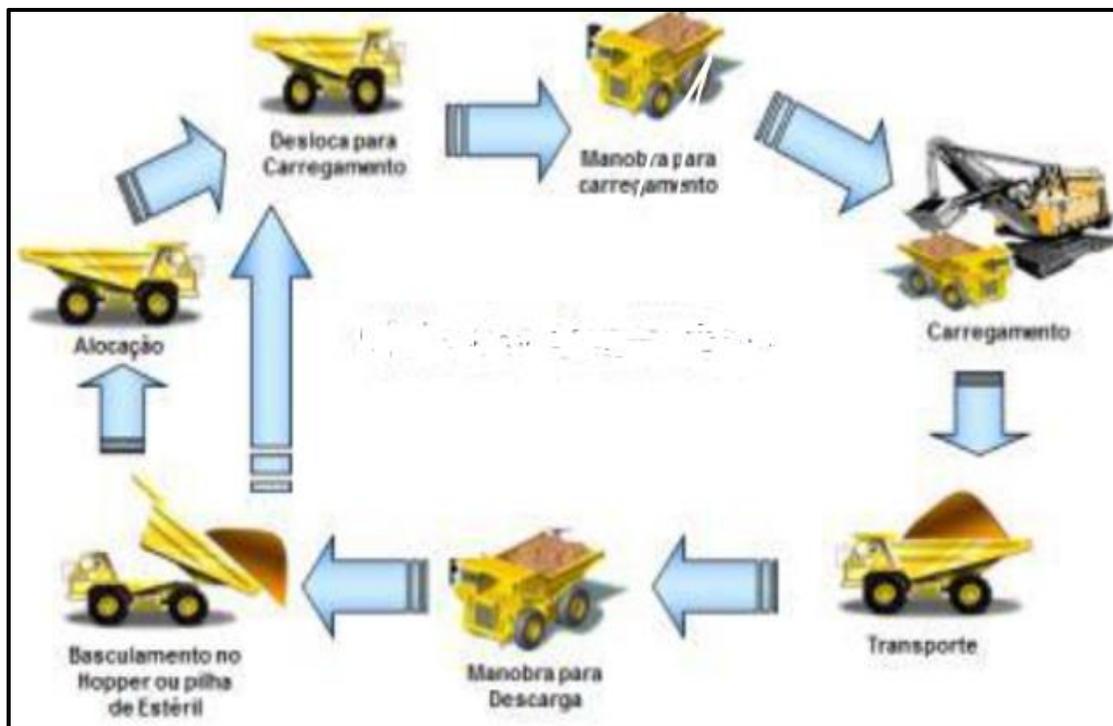


Figura 13 – Ciclo dos caminhões (Pereira, 2019)

O melhor resultado na operação da mina é obtido tomando as decisões certas de despacho para os caminhões que transportam minério e estéril, das frentes de trabalho para

os determinados pontos de descarregamento, que levam em consideração diferentes critérios, entre eles:

- 1- Maximizar a produção para uma frota de caminhões;
- 2- Minimizar filas nos pontos de carga e descarga;
- 3- O material a ser extraído de cada frente de trabalho deve estar em conformidade com as metas de qualidade.

O transporte do material de uma frente até um determinado ponto de descarga deve considerar uma série de rotas disponíveis, assim também a geração de fila tanto no ponto de carga como descarga dependera da capacidade do caminhão e do tipo de equipamento que ira carregar, descarregar ou receber o material.

É comum que se forme nas frentes em que são alocadas os equipamentos de carga, aonde os caminhões com diferentes capacidades são direccionados, e têm que esperar um determinado tempo para poderem ser carregados, o que gera tempo ociosos e diminuição da produção.

É importante considerar que os equipamentos de transporte são produtivos quando estão a transportar material, da mesma forma que equipamentos de carga são considerados produtivos quando estiverem carregados o material. Os tempos em fila e ociosidade dos equipamentos são a maior fonte de não produtividade. A eficiência de uma frota de transporte depende do seu tamanho e das distâncias percorridas.

As vias de acesso em mineração a céu aberto geralmente são simples estradas principais, construídas para possibilidade acesso a diversos bancos que dividem verticalmente o jazigo em blocos extracção. Os caminhões necessitam de boas estradas para minimizar o custo dos pneus.

Grandes máquinas com grande capacidade são necessárias para a eficiência elevada da produção em mineração, onde cavar e transferência de grandes quantidades de material geralmente continua durante 24 hora por dia.

A indústria de mineração também quer reduções nos custos de financiamento de máquinas ao longo do seu ciclo da vida, em conjunto com melhorias em índices operacionais, eficiência de combustível, etc.

A maioria dos caminhões de mineração utilizados em minas tem um sistema de accionamento mecânico, movido por motor diesel através de transmissões. Como os caminhões de mineração aumentaram de tamanho, os problemas respeitantes a limitação na

fabricação de máquinas de grandes parte, manutenção e transmissão de energia eficiência começaram a ocorrer.

Para resolver os problemas acima mencionados, foi desenvolvido um camião de mineração com um sistema de accionamento eléctrico, impulsionado por um motor eléctrico alimentado por electricidade gerado por um motor. Nesse camião de mineração estão incorporados uma unidade AC, que é um sistema de accionamento que lhe permite uma maior eficiência.

Esta unidade AC é altamente eficiente e proporciona as seguintes vantagens aos camiões de accionamento eléctrico em relação ao accionamento mecânico:

1. Aumento da capacidade de transporte por ter uma velocidade mais rápida que é possível graças a montagem de poderosos freios eléctricos;
2. Baixo consumo de combustível com maior eficiência de transmissão de energia;
3. É ambientalmente amigável, porque polui menos o ambiente em comparação com aqueles que usam o accionamento mecânico;
4. Eles dispensam o sistema de transmissão, que representa o maior custo de manutenção (até 40% dos custos).



Figura 14 - Camião Fora de Estrada Bucyrus MT 4400AC (Veloso, 2015).

CAPITULO V - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS CAMIÕES DIESEL E DIESEL-ELÉCTRICO

5.1. Ritmo de Produção e Vida da Mina

Ritmo de produção ou capacidade produtiva é um parâmetro que influenciam determinadamente em um estudo económico de viabilidade, isto é, toneladas de minério a produzir por ano.

Este ritmo vem marcado fundamentalmente pelo mercado, que detecta a produção anual factível de ser vendida. Porem, certos factores técnicos condicionam não só os ritmos mínimos por capacidade das maquinas, bem como o aumento da produção que não pode ser gradual mas sim escalonada, especialmente no processo de tratamento de mineiro onde as maquinas da lavaria condicionam o ritmo de exploração da mina.

Assim sendo, a capacidade produtiva e a vida da mina serão calculadas segundo a fórmula de Taylor:

$$P_{(MT/ANO)} = 0,15 \times R^{0,75} \times (1 \pm 2) \quad (18)$$

O prazo da vida explorável da Mina e a capacidade produtiva da empresa em função de reservas da chaminé “Luaxe” até a profundidade de 400 m, a metodologia citada pode ser apresentada de modo seguinte:

$$P = 0,15 * 398^{0,75} = 13 \text{ Mt/ano.} \quad (19)$$

$$V = \left(\frac{398}{13} \right) = 30 \text{ ano.}$$

A chaminé Kimberlítica do projecto do luaxe será explorada a céu Aberto, com uma reserva estimada cerca de 398.000.000 toneladas de mineiro, para primeira fase do projecto e com um volume de estéril de 160.000.000 m³, com o teor médio de 0,97 quil/ton, e 600.000.000 de quilates. Com o tempo de vida da mina iguais 30 anos, utilizando o sistema de mineração com escavação por avanço.

Logo o ritmo nominal de produção anual foi determinado usando a fórmula clássica de Taylor. A forma troncocónica do jazigo favorece a adopção da técnica de planificação com uma relação de mineração constante de 13 Mt anual durante os 30 anos da vida da mina

5.2. Cálculo da Produtividade de Equipamento de Carregamento e Transporte

É importante definir o regime de trabalho na mina bem como de cada equipamento. No caso em estudo, supõe-se trabalhar 24 horas ao dia no regime de três turnos, 7 dias por semana, e 365 dias do ano.

$$\text{Horas/ano} = 24 \times 365 = 8.760\text{h} \quad (20)$$

Tabela 3 - Classificação da mina em função do seu porte.

Tamanho da mina	Exploração a céu aberto
Nível	T/ano
Pequeno	< 1.000.000
Médio	< 5.000.000 > 1.000.000
Normal	< 25.000.000 > 5.000.000
Grande	< 100.000.000 > 25.000.000
Gigante	> 100.000.000

Fonte: (Veloso, 2015)

Segundo a tabela a mina do Luaxe é de normal porte porque tem-se uma produção normal anual de 13Mt/ano.

Produção horária é a quantidade de material ou volume que o mesmo carrega ou transporta durante um período de tempo, ou seja, e a razão entre o volume do equipamento e o tempo de ciclo. Calculamos a produção horária efectiva mediante a seguinte expressão:

$$P_h = \frac{PA}{Ht \alpha \times Dm \times Em} \quad (21)$$

$$P_h = \frac{13000000}{8760 \times 0,80 \times 0,85} = 2182379 \text{h} (500 \text{m}^3 / \text{h})$$

Onde:

P_h: produção horária efectiva (m³/h)

P_A : produção anual requerida (massa mineira) = Mm^3 / ano

H_{ta} : horas teóricas por ano = 8.760

D_m : disponibilidade das máquinas = 80%

E_m : eficiência da mina = 85%

Tabela 4 - Capacidade de produção da Mina do Luaxe

Capacidade de produção	Produção Horária		Produção Diária		Produção Mensal		Produção Annual	
	(t)	(m^3)	(t)	(m^3)	(t)	(m^3)	(t)	(m^3)
Média	1484	710	35616	17040	1104096	528240	13000000	6338880

Fonte: (Bunga, 2020).

Logo, o volume do balde (V_b) da escavadora será:

$$V_b = \frac{Ph \times T_c \times F_e}{60 \times K \times H_{op} \times E_f} \quad (22)$$

$$V_b = \frac{224 \times 0,92 \times 1,3}{60 \times 0,85 \times 0,9 \times 0,95} = 34(16m^3)$$

Onde:

P_h : produção horária efectiva (m^3/h)

T_c : tempo de ciclo da escavadora (0,52)

K : factor de enchimento do balde (85%)

H_{op} : Habilidade do operador / Eficiência (90%)

E_f : eficiência geral da operação (85%)

F_e : Factor de empolamento (1,3)

Número de escavadoras (N_{esc})

$$N_{esc} = \frac{\text{produção horária efectiva}}{\text{produção teórica}} \quad (23)$$

A produção teórica (P_{teor}) é definida pela razão entre a produção anual requerida e as horas trabalhadas.

$$P_{teórica} = \frac{PA}{H_{ta}} \quad (24)$$

PA : Produção Anual

H_{ta} : Hara de Trabalho por ano (8760 h/ano)

$$P_{teórica} = \frac{PA}{Hta} = \frac{13000000}{8760} = 1484/h (710 m^3/h)$$

Então o número efectivo das escavadoras será calculado mediante a equação:

$$N_{esc} = \frac{2182}{1484} = 1,46 \approx 2 \text{ Unidac}$$

Como regra geral, a escolha de camiões é baseada no número de ciclo necessários para o enchimento do camião.

Escavadora com pá frontal: 3 a 5 passadas

Volume do balde (V_b) seleccionado: 34t (16 m³)

Número de passada (n) = 5

Carga Útil (C_u) = $n \times V_b \times K$ (25)

Carga Útil (C_u) = $5 \times 34 \times 0.65 = 144t$ (69 m³)

Multiplicando o valor da carga útil pela densidade do minério (2.09 t/m³), temos a carga útil transportada por cada camião de 144t.

Contudo para elaborar um plano de produção ideal do projecto luaxe, iremos puro e simplesmente demonstrar a avaliação de um programa de nove camiões e duas escavadeiras, no sentido de verificarmos só limites de viabilidade de operação, isto é, para todos ritmos de produção do projecto Luaxe.

Tabela 5 - Tempo de Ciclos

Distância (Km)	Tempo Variavel	1CAM	2CAM	3CAM	4CAM	5CAM	6CAM	7CAM	8CAM	9CAM
25 km	44 minuto	55	110	165	220	275	330	385	440	495

Fonte: (Bunga, 2020).

Tabela 6 - Número de Ciclos

Nº/TEMPO	1CAMIÃO	2CAMIÃO	3CAMIÃO	4CAMIÃO	5CAMIÃO	6CAMIÃO	7CAMIÃO	8CAMIÃO	9CAMIÃO
HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DIA	24	48	72	96	120	144	168	192	216
MÊS	744	1488	2232	2976	3720	4464	5208	5952	6696
ANO	8928	17856	26784	35712	44640	53568	62496	71424	80352

Fonte: (Bunga, 2020).

Tabela 7 - Balde da escavadeira, carga útil do camião

Capacidade da produção	Balde. Escavadeira carga útil. Camião				Modelo escavadeira	Modelo Camião
	(t)	(m ³)	(t)	(m ³)		
Unidades	(t)	(m ³)	(t)	(m ³)	xxx	Xxx
Médio	34	16	144	69	6040FS	Caterpillar 7890

Fonte: (Bunga, 2020).

A produção horária dos camiões é dada por:

$$P_{h-cam} = \left(\frac{60}{T_{c-cam}} \right) \times C \times E_{cam} \quad (26)$$

Onde:

P_{h-cam} : produção horária do camião (t/h ou m³/h);

C : capacidade do camião (m³); (dada pela capacidade da escavadora);

E_{cam} : eficiência de trabalho do camião (90%);

T_{c-cam} : tempo de ciclo do camião (min).

Tempo do ciclo é uma das variáveis mais importantes na determinação da capacidade de produção dos equipamentos de transporte. O tempo de ciclo dos camiões é formado por seguintes tempos elementares:

- Tempo de carga (t_c)
- Tempo de transporte carregado (t_v)
- Tempo de manobra e descarga (t_m)
- Tempo de retorno vazio (t_r)
- Tempo de posicionamento para a carga (t_p)

Os tempos de carga, manobra, descarga e posicionamento são considerados tempos fixos, enquanto os de transporte são variáveis, pois dependem das distâncias percorridas.

a) Tempo de carga

Para determiná-lo dependerá da relação entre as capacidades do camião e o balde da escavadora. Desde que essa relação seja fixada, o tempo de carga será:

$$T_{\text{carga}} = n \times t_c \quad (27)$$

Onde:

N: número de passadas;

t_c : tempo de ciclo da escavadora (s);

$$t_{\text{carga}} = 5 \times 0.52 = 2.6 \text{ min}$$

b) Tempo de manobra e descarga e tempo de posicionamento da carga

As manobras e posicionamento do camião junto a escavadora e no ponto de descarga dependem do espaço disponível no local. Frentes muito estreitas dificultam o posicionamento e aumentando assim o tempo necessário.

Para os camiões fora-de-estrada de descarga traseira (Rear-Dump) o tempo de espera manobra e descarga em média é de 3 min e o tempo de espera a posicionamento para carga em média é de 2 min, esses tempos são fornecidos pelos fabricantes.

c) Viagem com/sem carga

Os tempos de viagem dos camiões dependem das velocidades dos camiões nos diversos trechos do percurso. Pois é aqui que residem as maiores chances de optimização, quer a nível do projecto das estradas e selecção dos equipamentos, quer a nível da administração de produção.

Para estimar o tempo de viagem do camião com/sem carga é necessário fazer um acompanhamento dos diferentes ciclos do camião com um cronómetro e assim estimar um tempo de ciclo médio.

O tempo de ciclo do camião será calculado mediante a seguinte expressão:

$$T_{\text{c-cam}} = T_{\text{man + esp - carga}} + T_{\text{carga}} + \frac{D}{V_1} + T_{\text{man + esp - descarga}} + \frac{D}{V_2} \quad (28)$$

Em função dos diferentes níveis da mina calcula – se o tempo de ciclo, de produção horária dos camiões em cada nível e o número de camiões necessários por ano na mina e será representada na tabela.

Tabela 8 - Velocidade horizontal nas rampas.

	Fundo da mina carregado	Fundo da mina vazio	Subir a rampa carregado	Subir a rampa vazia	Descer a rampa carregado	Descer a rampa vazio	Fora da mina carregado	Fora da mina vazio
Velocidade horizontal (km/h)	20	25	Xxxx	Xxxx	Xxxx	Xxxx	27	45
Velocidade na rampa (km/h)	Xxxx	xxxx	35	Xxxx	Xxxx	40	Xxxx	Xxxx

Fonte: (Veloso, 2015).

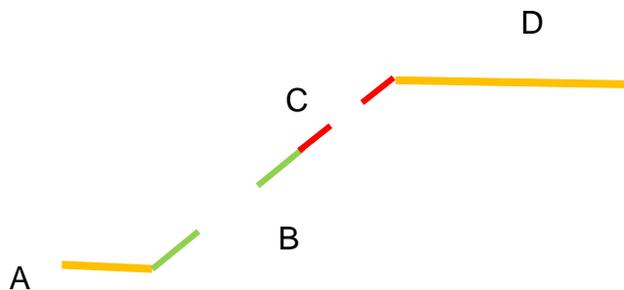


Figura 15- Ilustração de várias distâncias percorridas pelo camião na mina (VELOSO, 2015).

Onde:

A: Distância da frente de escavação até o pé da rampa;

B: Distância do sistema diesel na rampa;

C: Distância do sistema diesel-eléctrico na rampa;

D: Distância horizontal da estrada da esconbreira até o ponto de descarga.

5.3. Comparação Técnica entre Camião Diesel e Diesel-Eléctrico

O ponto de partida para a realização da análise comparativa, se dá primeiramente na escolha de camiões que serão comparadas. A escolha dos camiões partiu do princípio da necessidade de comparação entre dois modelos de camião fora de estrada que futuramente possam ser aplicada na mina e que possuem a sua configuração de funcionamento de forma diferente.

Tabela 9 - Comparação técnica do caminhão diesel e caminhão diesel-eléctrico

Especificação	Camião diesel-eléctrico	Camião diesel
Potencia liquida	2500 hp	2415 hp
Payloade nominal	221,6 toneladas métricas	229 toneladas métricas
Velocidade máxima carregado	64,0 Km/h	54,3 Km/h
Tempo de elevação da báscula	21 segundos	20 Segundos
Tempo de abaixamento da báscula	16 Segundos	19 Segundos
Tanque de combustível	4542 Litros	4922 litros
Consumo de combustível	122-170 litros/hora	136-181 Litros/hora
Comprimento	14,4 m	12,9 m
Altura	6,9 m	6,5 m
Largura	7,3 m	7,7 m

Fonte: (Pereira, 2019).

5.4 Estabelecimento dos Custos de Investimento e Operação

A maneira habitual de se calcular o custo dos equipamentos é por hora de utilização, pois permite a apropriação do tempo em que a máquina é usada nas diferentes operações. Logo, para se atingir esse objectivo será necessário conhecer as diferentes despesas que incidem na propriedade e operação de um equipamento determinando o seu custo horário de utilização.

A determinação do custo horário é tarefa difícil, em razão da grande diversidade de factores que nele incidem. Além disso, as condições específicas do uso da máquina, provenientes de circunstâncias locais como topografia, tipo de solo, características específicas dos serviços, podem influenciar no aumento ou diminuição dos custos.

Os custos que normalmente ocorrem na utilização de um equipamento são classificados em três grupos:

- ✓ Custo de propriedade;
- ✓ Custo de operação;
- ✓ Custo de manutenção;

Razão pelo qual, a determinação dos custos só pode ser feita sob forma de estimativas baseadas em suposições que podem de aproximar ou fugir dos custos reais apropriados, dependendo assim dos parâmetros adoptados e da experiência pessoal orçamentista.

Os custos de operação ocorrem, quando o equipamento é esperado para realizar algum trabalho e guardam certa proporcionalidade com as horas do uso do equipamento. Por esta razão são também denominadas de custos variáveis.

Na futura mina necessita-se de 6 camiões para fazer o transporte de mineiro e estéril no sistema diesel-eléctrico convencional.

Com a implementação dos camiões nas rampas ganham velocidade, isto é, quase o dobro da velocidade dos camiões diesel, implica um tempo de ciclo mais curto, maior produtividade e menor número de camiões (VELOSO, 2015).

Tabela 10 - Máquinas e equipamentos;

Custos operacional no sistema diesel	Camião CAT789		Escavadeira 6040FS	
	Valores (USD/h)	Custo Anual (USD/dia)	Valores (USD/h)	Custo Anual (USD/dia)
Variáveis				
Pneu	14,31	343,44	3,55	85,2
Mão-de-obra	37,5	900	41,66	999,84
Manutenção	58,02	1392,48	19,55	469,2
Combustível e lubrificante	54,76	1314,24	30,47	731,28
Total	164,59	3950,16	95,23	2285,52

Fonte: CAT. Angola

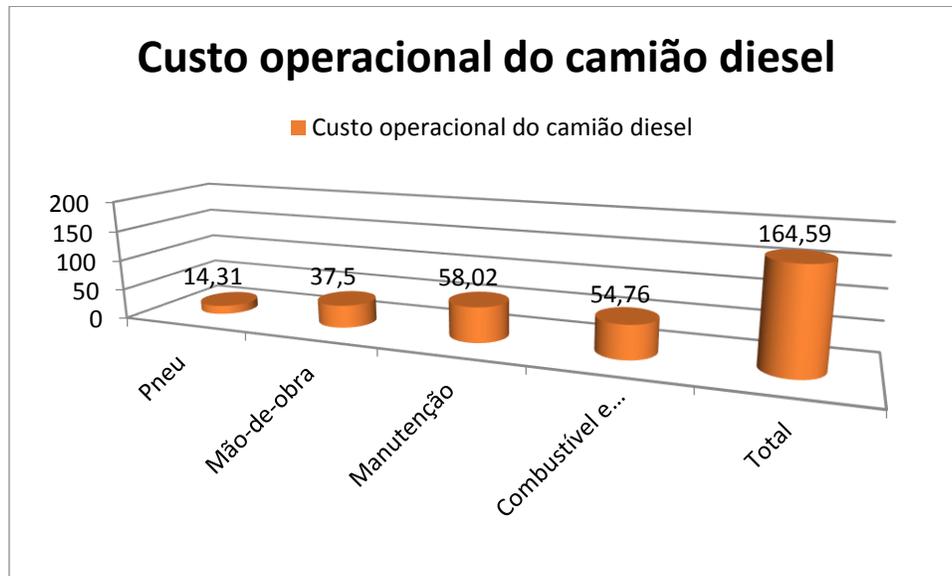


Figura 16 - Ilustração do custo operacional do camião diesel (Autor).

Tabela 11 - Máquinas e equipamentos;

Equipamento para carregamento e transporte			
Equipamento	Quantidade	Preço unitário (USD)	Total de preço
Camião CAT789	9	3500000	31500000
Escavadeira 6040FS	2	6000000	12000000
Total			43500000

fonte: CAT. Angola

Tabela 12 - Custo operacional para camião diesel-eléctrico e escavadeira

Custos operacional no sistema diesel	Camião Hitachi 3500ACII		Escavadeira Hitachi EX2600E-6	
	Valores (USD/h)	Custo Anual (USD/dia)	Valores (USD/h)	Custo Anual (USD/dia)
Variáveis				
Pneu	30	720	10	240
Mão-de-obra	13,34	320,16	15,39	369,36
Manutenção	35	840	87,50	2100
Combustível e lubrificante	23,23	557,52	29,04	696,96
Total	101,57	2437,68	141,93	3406,32

Fonte: (Autor)

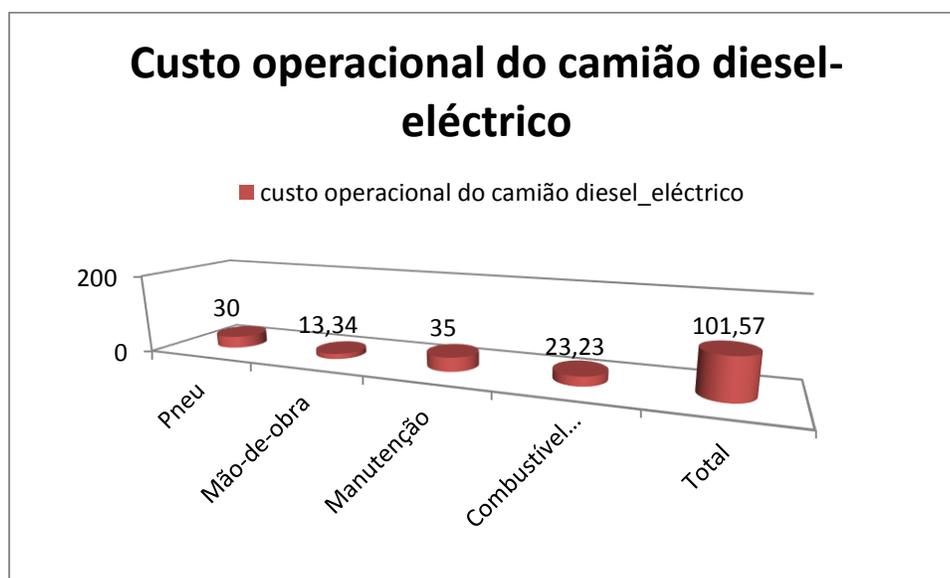
**Figura 17** - Ilustra custo de operação do camião diesel-eléctrico (Autor).

Tabela 13 - Camião convencional diesel-eléctrico

Equipamentos para carregamento e transporte			
Equipamento	Qtde	Preço unitário (USD)	Total de preço (USD)
Camião Hitachi EH3500ACII	6	7000000	42000000
Escavadeira Hitachi EX2600E-6	2	3500000	7000000
Total			19000000

Fonte: (Velooso, 2015)

Qtde = quantidade

Tabela 14 - Comparação dos custos operacional dos dois camiões.

Custos operacional no sistema diesel	Camião Hitachi 3500ACII (diesel-eléctrico)	Camião CAT789 (diesel)
Variáveis	Valores (USD/h)	Valores (USD/h)
Pneu	30	14,31
Mão-de-obra	13,34	37,5
Manutenção	35	58,02
Combustível e lubrificante	23,23	54,76
Total	101,57	164,59

Fonte: (Autor)

5.4. Opção aos Camiões Diesel-Eléctricos

Os custos de operação são definidos, como aqueles que são gerados de forma contínua durante o funcionamento de uma operação, podendo ser divididos em fixos e variáveis.

A opção à escolha do camião diesel-electrico foi feita em função das suas característica técnica e económica.

Característica técnica: maior mobilidade, velocidade maior, pentência liquida.

Economia:custo: já foi citado acima.

5.5.1. Análise e Discussão dos Resultados

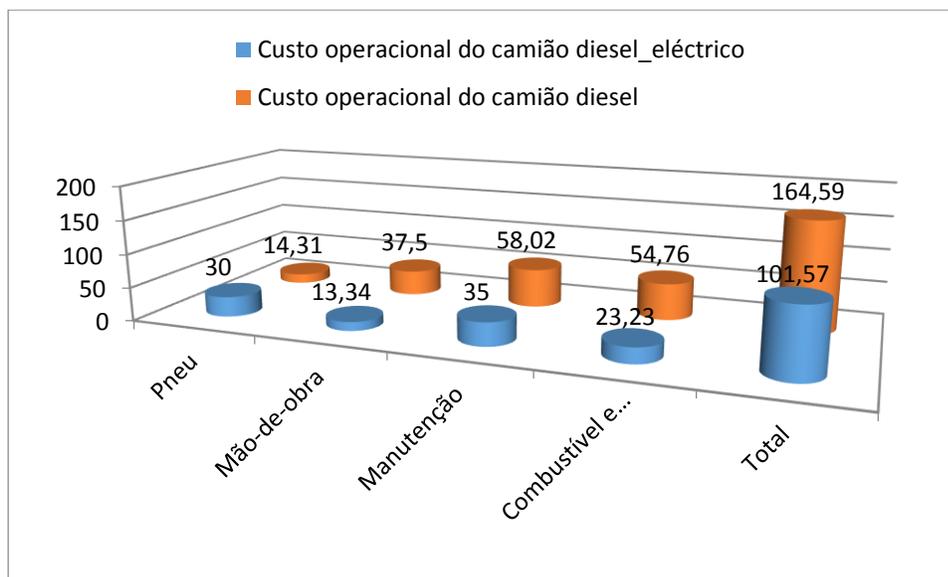


Figura 18 - Comparação dos custos operacionais dos dois camiões (Autor).

Nesse subcapítulo é apresentada a análise dos resultados e comportamento dos Custos de produção com a variação da capacidade produtiva dos equipamentos de transporte dimensionado anteriormente.

Essas análises dão ao tomador de decisão uma visão económico-finaceira dos dois sistemas de transporte, analisando de tal modo que se opte sistema que atenda as metas de produção e minimize seus custos.

Em termo de custo pode-se verificar que o custo total diesel é superior do que com o eléctrico, isso deve-se ao baixo consumo de combustível, óleo de lubrificação, manutenção periódica que são as grandes vantagem do sistema eléctrico.

CONCLUSÕES

Com base nos estudo feito concluímos que:

1. Com o tema critérios de comparação entre camiões convencionais diesel e diesel-eléctrico, nota-se que a indústria de mineração vivenciou grandes transformações ao longo da sua história e vem ainda buscando se adaptar a uma nova realidade em que a busca por novas tecnologias e, acima de tudo, aumento da produtividade e redução de custos, continua ainda mais forte.

2. Esse trabalho buscou discorrer sobre a actual conjuntura da operação de carregamento e transporte em minas a céu aberto, analisando a evolução dos principais camiões fora de estrada.

3. O presente trabalho buscou analisar os custos de aquisição de cada camião, os parâmetros técnicos e económicos, os custos de operação para cada camião, visto que o sector mineiro tem como finalidade optimizar os custos e maximizar os ganhos.

RECOMENDAÇÕES

Após a conclusão do nosso trabalho, elenca-se algumas recomendações que poderão auxiliar a Chamine do Luaxe com base nos critérios de selecção dos camiões convencionais diesel e diesel-eléctrico em função das suas características técnicas:

- Embora o presente estudo se refira a um contexto sócio-económico e geográfico, acredita-se que seus resultados se estendam a outros mercados de empresas mineiras, posto que em princípio as variáveis analisadas se aplicam a todos os âmbitos de empresas de exploração mineira. Os critérios de comparação e/ou substituição de camiões convencionais diesel para diesel-eléctrico podem ser adaptadas a condições de outros mercados;

- Aumentar o alcance deste trabalho para outros fóruns ambientais, a fim de se ter uma análise geral dos custos de retorno do referido sistema.

- Depois dos cálculos feitos e baseando-se nos custos operacionais dos dois camiões recomenda-se a escolha diesel-eléctrico em função das características económica. Baixo custo de aquisição e pelo custo da manutenção:

- i. As futuras minas optarem por camiões diesel-eléctrico. Porque em termos de consumo de combustível são mais económicos em relação aos camiões diesel.
- ii. Aos futuros finalistas fazerem os trabalhos do fim do curso comparando os camiões diesel-eléctrico e com o eléctrico. Porque com o avanço das tecnologia os camiões diesel futuramente perderam o seu uso.
- iii. Também, as empresas mineiras façam um planeamento e acompanhamento do estudo de viabilidade técnico e económico quanto a selecção dos equipamentos. De modo que, as empresas devem acompanhar o evoluir dos camiões.
- iv. Para os futuros projectos mineiros angolanos recomenda-se a utilização de meios tecnológicos com novas fontes de energia renovável, uma vez que, verifica-se uma transição energética e assim poderá se evitar o desgaste ou poluição na camada de estufa.

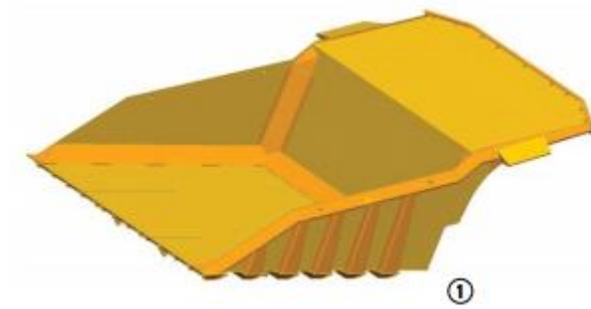
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BERNADO, M.: Planificação das actividades para o desenvolvimento de um projecto de exploração de Kimberlito (ProjectoLuaxe). Monografia de licenciatura engenharia de Minas, universidade Agostinho Neto, Angola. 2019.
- [2] Borges, T.: Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração ouro proto/MG Agosto de 2013.
- [3] Bunga.S.: Determinação da capacidade de produção ideal considerando o valor presente líquido em mineração a céu aberto (caso de estudo mina do luaxe), Monografia de licenciatura engenharia de Minas, universidade Agostinho Neto, Luanda. 2020.
- [4] CEMA, Conveyor Equipment Manufacturers Association. Belt conveyors for Bulk Materials. 5ª edição. USA, 1997. 430p.
- [5] COSTA, G.: Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. UFF, Niterói, 2002.
- [6] COUTO, S.: Lavras a céu aberto e equipamentos principais. Porto, 1990. Tese De Doutorado. Universidade do porto. Disponível em: <<http://repositorioaberto.up.pt/handle/10216/12227>> Acesso em: 14/10/2015.
- [7] Da costa, M.: Instituto Superior de Engenharia do Porto, departamento de engenharia geotécnica, impacto das tecnologias em explorações mineiras a céu aberto, porto, 2017.
- [8] GONTIJO, M.: Estudo de variáveis relevantes que interferem na seleção dos modelos de caminhões para transporte de minério. Programa de Especialização em Sistemas Minerio-Metalúrgico. Monografia, UFOP, 2009.
- [9] Júnior.W.: Escola de minas da universidade federal de ouro preto departamento de engenharia de minas programa de pós-graduação em engenharia mineral – ppgem seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério à decisão. Ouro preto junho de 2013.
- [10] Lages, A.: Estudo preliminar da influência do porte de veículos de carregamento e transporte nos custos operacionais de minas a céu aberto, monografia departamento de engenharia de minas, escola de engenharia da universidade federal de minas gerais, dezembro 2018.

- [11] LOPES, R.: Viabilização técnica e económica 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.
- [12] NUNES, R.: Método construtivo de pilha de estéril por equipamento de formação de pilha. Trabalho Final da Disciplina Fluxo de Material Fragmentado. PPGEM. UFOP. 2010.
- [13] Pereira da Silva, L.: Critérios de Seleção e Principais Equipamentos Utilizados na Lavra a Céu Aberto Selection Criteria and Main Equipment Used in Open-Pit Mining 2015.
- [14] Pereira, M.: (Universidade tecnológica federal do paraná câmpus Guarapuava coordenação de engenharia mecânica. Análise comparativa entre caminhões fora de estrada na mineração - através de indicadores de desempenho. Guarapauva. 2019).
- [15] RICHARDSON, R. J. & Conder, R. E, Evaluation of materials handling transportation systems. Metso. 2004.
- [16] SCHRÖDER, D.: Economic and technologic aspects of bucketwheel excavator and Crusher/conveyor systems, Krupp Fördertechnik.2003.
- [17] SILVA, C.: Carregamento e transporte de rochas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009.
- [18] Veloso da Costa, S.: Escolha técnica-economica comparativa entre os modos de transporte por camiões diesel-electricos convencionais e camiões assistido por troller (aplicação ao caso do projecto da mina sv), Monografia de licenciatura engenharia de Minas, universidade Agostinho Neto, Luanda. 2015.
- [19] WWW.CAT.COM, tipos de camiões, acedido em 26 de Fevereiro de 2020
- [20] CARTEPILLAR, SAFETY. CAT.COM

ANEXOS

ANEXO 1



FIRURA 1- Balde X, Cat

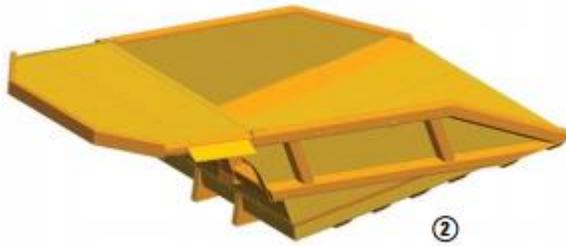


Figura 2- MSD II, cat



Figura 3- Balde para Carvão sem Porta, cat

6050/6050 FS

Escavadeira Hidráulica Shovel



DESCRIÇÃO	SAIDA DO MOTOR	CAÇAMBA	PESO OPERACIONAL
ESCAVADEIRA6050	1880KW	50t	537t

Caminhão Fora-de-estrada

793F

DESCRIÇÃO	POTÊNCIA BRUTA	POTÊNCIA LÍQUIDA	MODELO DO MOTOR	CAÇAMBA	PESO OPERACIONAL
CAMIÃO793F	1.976KW	1.848KW	C175-16	208-226t	390.089Kg

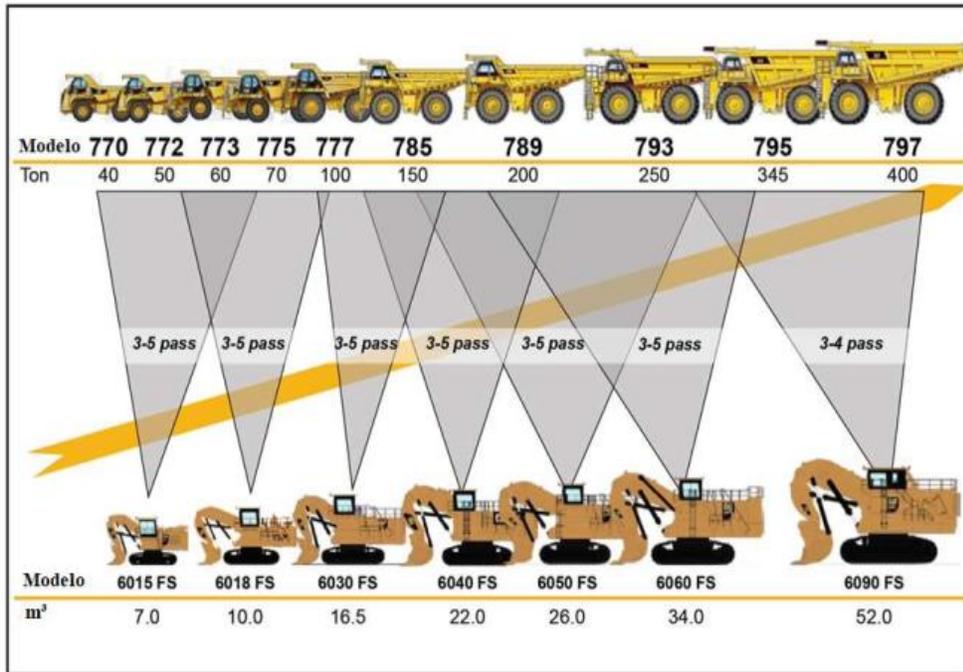


FIGURA 6: Relação de compatibilidade de caminhões fora de estrada e escavadeiras hidráulicas frontais, (CAT Field Guide; 2014)

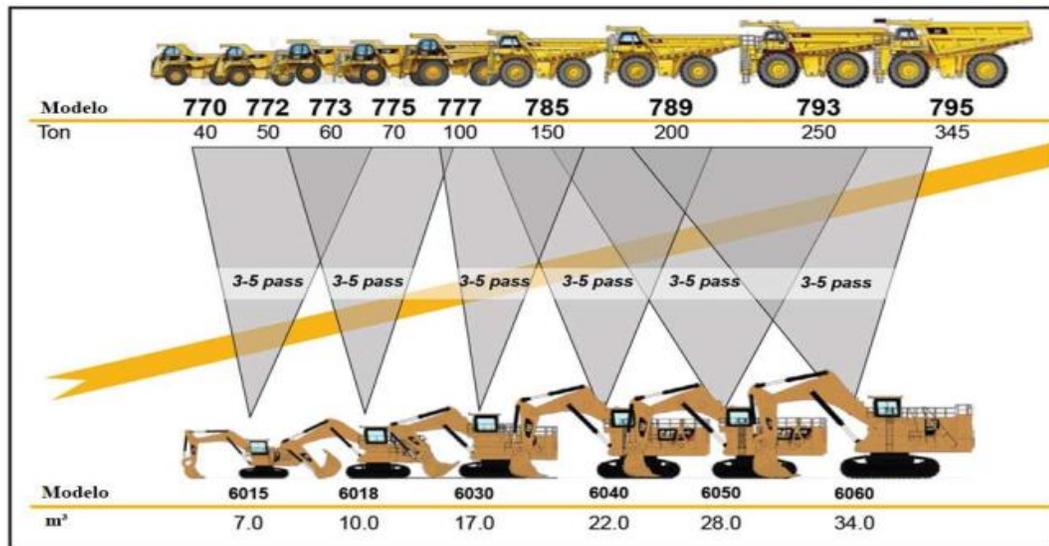


FIGURA 7: Relação de compatibilidade entre caminhões fora de estrada e retroescavadeiras hidráulicas. (CAT Field Guide; 2014)

ANEXO 2**TABELA I - Parâmetros técnicos a considerar, Catoca**

Variáveis	Símbolo	Valor
Disponibilidade da máquina	Dm	80%
Eficiência da máquina	Ef	85%
Factor de empolamento	Fe	1,3
Factor de enchimento do balde	K	85%
Habilidade do operador ou eficiência	Hop	95%
Eficiência Do balde	Efb	95%
Tempo de ciclo da Escavadeira	Tc	52%
Nº de Passadas	N	5%
Densidade do minério rico	D	2,09t/m ³
Densidade do minério pobre	D	2,14t/m ³
Densidade do Ester (gnaisse)	D	2,7t/m ³
Densidade do Ester (Arenite)	D	2,06t/m ³