



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS



**TRABALHO DE FIM DE CURSO, PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DE MINAS**

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE CAMIÕES DIESEL E
CORREIA(TRANSPORTADORA) NO TRANSPORTE DA MASSA MINEIRA**
ESTUDO DE CASO – MINA DE CATOCA

Autor: Pedro Tunga João

Estudante N° 123059

Luanda, 2023

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MINAS

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE CAMIÕES DIESEL E
CORREIA(TRANSPORTADORA) NO TRANSPORTE DA MASSA MINEIRA**

ESTUDO DE CASO – MINA DE CATOCA

Autor: Pedro Tunga João

Estudante N° 123059

Trabalho de fim de Curso apresentado à Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Engenharia, Curso de Minas, como parte dos requisitos para obtenção do grau de licenciatura em engenharia de minas.

Orientado por: Prof. Dr. Augusto Cazola

Co-Orientador: Eng° Lopes Adão Nsungani

Luanda, 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu querido irmão João Sebastião Nkalanga (em memória), pois foi o meu maior incentivador para chegar até aqui. Sua perda me deu forças para lutar e buscar o melhor de mim. Prometi-lhe que nunca desistiria dos meus sonhos e que realizaria tudo o que por ele não foi possível realizar.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela conquista, por me dar força, sabedoria e persistência para percorrer esse caminho, pois, é o pilar da minha existência.

Aos meus queridos pais Tunga João e Rosa Lufuma pelo amor, carinho, conselhos e por sempre apoiarem-me possibilitando a minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, professor, **Dr. Augusto Cazola, Eng. de Minas**, que aceitou o desafio de orientar-me, me dando todo o apoio necessário para a realização e principalmente para a conclusão deste trabalho.

Aos Engenheiros, Pedro Gama, da sociedade mineira de Catoca e o Engenheiro Lopes Adão Nsungani pelos apoios incondicionais.

Aos meus irmãos, por todo apoio que me têm dado todos os dias para que eu não me desvie dos meus objetivos.

Aos meus amigos e colegas que trocamos ideias e experiências, nos ajudando para que hoje pudéssemos dizer que valeu a pena dedicar-se.

Aos Docentes da faculdade de engenharia, do departamento de minas que têm empreendido esforços para formar Engenheiros de Minas com qualidade e competência.

Á todos muito obrigado.

RESUMO

A escolha do equipamento de transporte da massa mineira traz cada vez mais desafios a serem resolvidos pelos técnicos, engenheiros e especialistas, principalmente no que diz respeito aos índices técnicos e económicos. Para atingir este objectivo inicialmente, fez-se uma pesquisa bibliográfica e estudos sobre temas relacionados aos equipamentos de transporte da massa mineira mais utilizadas em minas a céu, igualmente com base nos relatórios fornecidos pela Sociedade Mineira de Catoca obtivemos dados importantes para realização do projecto. Este projecto tem por objectivo levantar um referencial teórico e prático servindo como base ou ponto de partida para proposta do melhor tipo de equipamento de transporte, tendo em conta os principais índices técnicos e económicos que resultariam numa redução dos custos operacionais, e maior produção da mina. Esta análise foi feita, a partir dos sistemas de transporte por camiões e correias transportadoras, sendo estes os equipamentos utilizados na mina de catoca. Para além disso, levanta-se a questão central do aumento dos custos operacionais, exigindo, portanto, uma resposta adequada, no que diz respeito à necessidade da escolha de um sistema de transporte da massa mineira que acarreta menos custos, e maior produtividade. Surge então a necessidade de se comparar os principais índices técnicos-económicos, e produtivo entre o sistema de transporte por camiões e correias transportadoras, para redução dos custos operacionais. Apresentados os resultados comparativos dos índices técnicos e económicos entre os dois sistemas de transporte da massa mineira, verificando-se que do ponto de vista económico, uso do sistema de transporte por camiões acarreta maiores custos operacionais, em relação as correias transportadoras, e conseqüentemente o sistema de transporte por correia apresenta maior custo de capital. Este facto leva a sugerir o sistema de transporte por correia como a melhor opção para a redução dos custos. Ainda assim, recomenda-se um estudo mais aprofundado.

Palavras-chaves: transporte por camiões, transporte por correias transportadoras, Custos operacionais, Custo de investimento, produtividade.

ABSTRACT

The choice of mining equipment brings more and more challenges to be solved by technicians, engineers and specialists, especially with regard to technical and economic indexes. In order to achieve this objective initially, a bibliographic research and studies were carried out on topics related to the most used mining mass transport equipment in pit mines, also based on the reports provided by the Sociedade Mineira de Catoca (Mining Society of Catoca) We obtained important data to carry out the project. This project aims to raise a theoretical and practical reference serving as a basis or starting point for proposing the best type of transport equipment, taking into account the main technical and economic indices that would result in a reduction of operating costs, and greater production of the mine. This analysis was made from the trucking and conveyor belt transport systems, which are the used in the Catoca mine. In addition to this, the central issue of the increase in operating costs arises, thus requiring an adequate response, with regard to the need to choose a mining mass transport system that entails lower costs and higher productivity. The need arises to compare the main technical-economic and productive indices between the truck transport system and conveyor belts, in order to reduce operating costs. The comparative results of the technical and economic indices between the two systems of transport of the mining mass are presented, verifying that from an economic point of view, the use of the truck transport system entails higher operating costs, in relation to the conveyor belts, and consequently the belt transport system presents higher capital cost. This leads to the suggestion of the belt conveyor system as the best option for cost reduction. Still, further study is recommended.

Keywords: trucking, conveyor belt transport, operating costs, investment cost, productivity.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SMC	Sociedade Mineira de Catoca
°C	Grau celsius
Engº	Engenheiro
m²	Metros quadrado
m	Metro
m³	Metros cúbicos
Km²	Quilometro quadrado
Kg	Quilograma
Nº	Número
t	Toneladas
\$	Dólar Americano
ton	toneladas
DMT	Distância Média de Transporte
ROM	Run Of Mine
PH	Potência
Δt	variação do tempo
HEF	Hora efectiva de Operação
AO	Atraso operacional
HT	Horas de trabalho
DF	Disponibilidade física
kw	Quilowatt
SGMC	Sistema de Gestão de Manutenção de Catoca

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VII
CAPÍTULO I - GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2. Formulação do Problema.....	1
1.2.3. Formulação da Hipótese:	2
1.3. Objectivo Geral.....	2
1.3.1. Objectivos específicos	2
1.4. OBJECTO DE ESTUDO:	2
1.5. CAMPO DE ACÇÃO:	2
1.6. Justificativa.....	2
1.7. Delimitação do Estudo	3
1.8. Limitação	3
1.9. Metodologia:.....	3
CAPITULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. Minas a Céu Aberto	4
2.2. Transporte do Material	4
2.2.1. Transporte por Camiões.....	5
2.2.2. Camiões Fora de Estrada	6
2.2.3. Operações de transporte por camiões na mina a céu aberto	7
2.2.4. Vantagens e Desvantagens do Transporte por Camiões.....	8
2.3. Transporte por Correias Transportadoras	9
2.3.1. Classificação da Correia Transportadora.....	10

2.3.2. Composição de uma Correia Transportadora	10
2.3.3. Vantagens e Desvantagens do Transporte por Correia Transportadora	12
2.4. Avaliação dos Custos dos Equipamentos de Transporte	13
2.4.1. Custo Operacional	13
2.4.1.1. Consumo de Combustível.....	13
2.4.1.2. Lubrificantes e Filtros.....	14
2.4.1.3. Mão-de-Obra	14
2.4.1.4. Pneus.....	14
2.4.1.5. Consumo de Energia Eléctrica	15
2.4.1.6. Manutenção	16
2.5. Tempo de Ciclo dos Equipamentos de Transporte.....	17
2.5.1. Tempo de Ciclo dos Camiões.....	17
2.6. Ritmo de Produção	18
CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	19
3.1. Localização Geográfica	19
3.2. Vias de Acesso	20
3.3. Generalidades Sobre a mina de Catoca	21
3.4. Geomorfologia e Hidrografia da Região	22
3.4.1. Clima	22
3.4.2. Fauna e Flora	23
3.4.3. Hidrografia	24
3.5. Geologia do Jazigo	24
CAPÍTULO IV - ESTUDO DE CASO	26
4.1. Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira.....	26
4.2. Sistema de Mineração.....	27
4.2.1. Planeamento e Operações.....	28
4.3. Softwares Usados para o Suporte das Atividades do Planeamento das Operações.....	28

4.4. Equipamentos Utilizados	29
4.5. Planificação da Mina	30
4.6. Regime de Trabalho.....	30
4.7. Cálculo da Produtividade dos Equipamento de Carregamento e Transporte	31
4.7.1. Cálculo da Produtividade dos Camiões	32
4.7.2. Cálculo do Tempo de Ciclo dos Camiões	33
4.7.3. Produtividade da Correia Transportadora.....	35
4.7.3.1. Capacidade de Carga da correia tranportadora.....	35
CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37
5.1. Custos Operacionais Gerados com a Transportação	37
5.2. Custos de Produção dos Equipamentos de Transporte.....	39
5.3. Custos de Capital dos Equipamentos	40
5.4. Consumo de Combustíveis e Energia Eléctrica.....	40
5.4.1. Consumo de Combustíveis	40
5.4.2. Consumo de Energia Eléctrica	42
5.5. Custo com Pneus	42
5.6. Resultados dos Índices Técnicos e Econômicos.....	43
CAPÍTULO VI – IMPACTO AMBIENTAL.....	45
6.1. Avaliação Ambiental	45
CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
7.1. Conclusões.....	46
7.2. Recomendações	47
CAPÍTULO VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS .....	.....

Tabela 1: Vida útil provável para alguns equipamentos.....	15
Tabela 2: Coordenadas geográficas Sociedade Mineira de Catoca.....	19
Tabela 3: Resultado dos Principais Parâmetros de Optimização	21
Tabela 4: Lista dos Equipamentos Principais e Auxiliares utilizados na mina de Catoca	29
Tabela 5: Planificação da massa mineira da mina de catoca para o ano de 2023	30
Tabela 6: Horas trabalhada pelos camiões de janeiro a junho de 2023.....	31
Tabela 7: Produção dos camiões Iº semestre 2023	32
Tabela 8: Ciclo de transporte do material estéril no horizonte 840N utilizando o camião Belaz (136 t) carregado por uma Escavadeira caterpillar 6040.....	33
Tabela 9: Especificações do camião BELAZ75139	34
Tabela 10: Produção da correia transportadora fase 1- Iº semestre 2023	36
Tabela 11: Custos Operacionais dos Camiões de Janeiro a Junho 2023	37
Tabela 12: Custos Operacionais da Correia Transportadora de Janeiro a Junho	37
Tabela 13: Custos por metros cúbicos do primeiro semestre-2023.....	39
Tabela 14: Custos de Capital dos Equipamentos de Transporte	40
Tabela 15: Consumo de Combustível dos Camiões de Janeiro a Junho - 2023	41
Tabela 16: Consumo de Energia Semestral da Correia Transportadora.....	42
Tabela 17: Vida útil provável para alguns equipamentos.....	42
Tabela 18: Resumo de alguns Parâmetros Técnicos e Económicos.....	43
Figura 1: Sistema de Transporte : Camião(esquerda), Correia transportadora (direita)	5
Figura 2: Camião Fora de Estrada	6
Figura 3: Medidas Camião Fora de Estrada	7
Figura 4: Ciclo de Operação de Carga e Transporte	8
Figura 5: Correia Transportadora	9
Figura 6: Componentes de uma Correia Transportadora.....	10
Figura 7: Alguns componentes da correia transportadora: Tambores de acionamento (A), Roletas(B), chute com comporta regulável (C).....	12
Figura 8: Mapa de Localização da Sociedade Mineira de Catoca (SMC).....	19
Figura 9: Vias de Acesso e Aerodromo de Catoca.....	20
Figura 10: (A,B) Imagens ilustrativas do clima da região leste de Angola SMC	22
Figura 11: (A, B) Fotos da fauna e flora típica da região.....	23
Figura 12: Savana típica-estepe tropical com uma abundante cobertura herbácea.....	23
Figura 13: (A,B) Recursos hídricos do rio Chicapa	24
Figura 14: Corte de delimitação dos blocos de reserva.....	25
Figura 15: Organograma do Departamento de Exploração Mineira	26

Figura 16: Chaminé da Mina de Catoca	27
Figura 17: Ciclo de operações mineiras	28
Figura 18: Projecção da mina Catoca	28
Figura 19: Equipamentos utilizados	29
Figura 20: camião belaz 75139.....	34
Figura 21: camião pipa borrifador de estrada de marca komatsu 777.....	45
Gráfico 1	36
Gráfico 2.....	36
Gráfico 3.....	38
Gráfico 4.....	38
Gráfico 5: Custos total por metros cúbicos do primeiro semestre-2023	39
Gráfico 6.....	41
Gráfico 7.....	41
Gráfico 8: Representação dos Índices Econômicos.....	44
Gráfico 9: Representação da Produtividade – Índice Técnico.....	44
Equação 1	13
Equação 2	14
Equação 3	15
Equação 4	15
Equação 5	17
Equação 6	17
Equação 7	17
Equação 8	17
Equação 9	18
Equação 10	18
Equação 11	31
Equação 12	31
Equação 13	32
Equação 14	32
Equação 15	35
Equação 16	35

CAPÍTULO I - GENERALIDADES

1.1. INTRODUÇÃO

A mineração está entre as mais essenciais atividades existentes, contribuindo efetivamente para o desenvolvimento econômico e pessoal de todo o mundo. É por meio desta atividade que se extraem diversos recursos primordiais para as indústrias do mundo.

A atividade da mineração é muito dinâmica e está sempre lidando com oscilações de mercado, portanto é primordial estar atento a todos os factores que podem influenciar na viabilidade do empreendimento para mantê-lo competitivo, produtivo e economicamente viável.

Nesse sentido, é imprescindível realizar o acompanhamento dos indicadores técnico-econômico e produtivo, que podem influenciar nas operações e produção de uma mina.

Os custos operacionais nas minas tem aumentado significativamente devido a elevação dos preços do óleo diesel, pneus de camiões de grande porte, manutenção dos equipamentos e mão de obra.

A competitividade do mercado global da mineiração tem exigido esforços das empresas no sentido de elaborar estudos que possibilitem a redução de seus custos operacionais.

As operações unitárias em minas a céu aberto, estão divididas em perfuração, desmonte, carregamento e transporte, sendo que o transporte da massa mineira é predominantemente realizado por camiões e correias transportadoras.

Logo neste trabalho faremos menção dos principais tipos de equipamentos de transporte da massa mineira utilizados na mina de Catoca.

Aborda-se-à ainda neste trabalho, sobre análise comparativo dos principais tipos de equipamentos de transporte da massa mineira utilizada na mina de catoca com objectivo de conhecer a eficiência e eficácia dos mesmos.

1.2. Formulação do Problema

Necessidade de conhecer a eficiência e eficácia na utilização dos equipamentos de transporte da massa mineira na mina de Catoca.

1.2.1. Causas: A falta de um pre-estudo sobre os indicadores de eficiência e eficácia na utilização dos equipamentos de transporte da massa mineira na mina Catoca.

1.2.2. Consequências: Baixa produtividade, e aumento do custo operacional.

1.2.3. Formulação da Hipótese:

- ✓ Se se conhece os equipamentos de transporte da massa mineira utilizados na mina de Catoca, então é possível determinar os indicadores de eficiência e eficácia para compará-los com os resultados que se leva a cabo actualmente na mina de Catoca.

1.3. Objectivo Geral

- ✓ Determinar os principais indicadores de eficiência e eficácia nos equipamentos de transporte da massa mineira na mina de Catoca.

1.3.1. Objectivos específicos

- ✓ Comparar os custos operacionais entre os camiões diesel e as correias transportadoras.
- ✓ Determinar os indicadores de eficiência e eficácia nos equipamentos de transporte da massa mineira na mina de Catoca.
- ✓ Identificar o melhor sistema de transporte.

1.4. OBJECTO DE ESTUDO:

- ✓ Equipamentos de transporte da massa mineira.

1.5. CAMPO DE ACÇÃO:

- ✓ Indicadores técnico-económico e produtivo.

1.6. Justificativa

A evolução do mundo e o aumento da demanda concernentes aos minerais, está a levar muitas empresas mineiras a aumentar sua produção de modo a cobrir essa demanda. A mineração, como actividade essencial para a humanidade, deve ser realizada de modo que as empresas tenham uma maior rentabilidade e menor custo ligado a produtividade.

O custo para manter toda uma actividade de exploração é muito alto, sendo indispensável ter uma boa gestão para a redução de custos. Para Teixeira (2016), a competitividade e a sobrevivência no mercado estão ligadas a capacidade de redução no custo de produção do minério.

Conhecer os indicadores de eficiência e eficácia dos equipamentos de transporte da massa mineira, é necessário para ajudar a empresa atingir as metas de produção pretendida.

Desenvolver um trabalho sobre análise comparativo entre os equipamentos de transporte da massa mineira, auxiliará não somente os engenheiros na escolha de um novo equipamento que atenda às necessidades da empresa, mas também aos gestores e engenheiros que atuam nas áreas de operação e manutenção da empresa.

Além disso, a carência de informações disponíveis na literatura acadêmica no comparativo entre os equipamentos de transporte da massa mineira, também ajuda a justificar a relevância para a realização desse trabalho, contribuindo como meio em futuras decisões estratégicas.

Com o resultado deste estudo, pretende-se expor aos leitores interessados, em particular os estudantes da engenharia de minas, o procedimento ou a metodologia para melhor escolher os equipamentos de transporte da massa mineira em mina a céu aberto.

1.7. Delimitação do Estudo

O presente trabalho delimita-se no estudo comparativo, do sistema de transporte por caminhões diesel e por correias transportadora numa mina a céu aberto - mina de Catoca.

1.8. Limitação

O presente trabalho limita-se a comparação aos custos operacionais, custos de manutenção, eficiência energética, e eficiência de transporte.

1.9. Metodologia:

Este trabalho envolveu uma pesquisa bibliográfica. Os dados ou as informações foram objecto de uma ampla busca; em seguida, os textos foram colectados, organizados, analisados, interpretados e acrescentados ao trabalho.

A metodologia bibliográfica refere-se à busca de informações suficientes para o desenvolvimento do trabalho. Pesquisas podem ser agrupadas em dois tipos de procedimentos: documentação directa e documentação indirecta. Portanto, neste trabalho adoptou-se a técnica de documentação indirecta, através de dados fornecidos pela SMC (Sociedade Mineira de Catoca), apartir dos relatórios produzido pelo software de gestão da mina (software wenco) e da pesquisa bibliográfica de todos os assuntos discorrido.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Minas a Céu Aberto

A minas a céu aberto, para ser viável econômica e tecnologicamente, deve possuir um corpo mineral próximo à superfície ou em profundidade moderada e, quando comparada à lavra subterrânea, possui inúmeras vantagens como a alta produtividade e o baixo custo operacional (CURI, 2014).

Segundo (CURI, 2017), minas a céu aberto representam a maior parte da produção mineral no mundo. A seleção de um método de lavra para uma determinada jazida visa a extração completa do corpo mineral, a máxima segurança operacional, mínima poluição ambiental e o maior lucro.

Existem minas a céu aberto de diversas formas, dimensões, orientações e profundidades, mas, assim como em qualquer empreendimento minerário, a lavra consiste no conjunto de operações unitárias de desmonte, carregamento e transporte. Estas etapas variam conforme a mina e o corpo a ser minerado.

2.2. Transporte do Material

A seleção do sistema de transporte a ser usado pode ser um fator determinante para criar uma vantagem competitiva de serviço. Além disso, trata-se a escolha baseada em decisão técnica e econômica por envolver características operacionais, capacidade produtiva, tempos e custos.

Segundo Racia (2016), na mineração existem vários métodos e sistemas de transporte de material, entretanto os mais utilizados são:

- **Transporte Por Camiões;**
- **Transporte Por Correias Transportadoras.**

Dentre os diversos métodos de transporte de material, vagões, correias transportadoras, camiões etc., o transporte realizado por camiões é o mais comum na maioria das minas a céu aberto, sendo também dentre os diversos métodos o mais versátil.

Com intuito de focar apenas nos equipamentos de transporte presentes na mina caso de estudo, apenas o transporte por camião e o transporte por correias transportadoras serão descritos neste trabalho.



Figura 1: Sistema de Transporte : Camião(esquerda), Correia transportadora (direita)

Fonte: Caterpillar , (ANDRADE e FARIA, 2004)

2.2.1. Transporte por Camiões

O sistema de transporte por camiões é tradicionalmente o preferido pelos engenheiros de minas, devido à grande flexibilidade e mobilidade dos equipamentos. O transporte por camiões tem por objetivo deslocar o material desde sua origem na frente de lavra até o seu destino na mina.

Com a intenção de alcançar maiores produtividades, com menor tempo de ciclo de carregamento, os camiões e os equipamentos de cargas formam pares, tendo múltiplos de capacidade e otimizando os ciclos. Atualmente, encontram-se no mercado diversos modelos de camiões com os mais distintos tamanhos e capacidades (BORGES, 2013).

A escolha da frota está diretamente relacionada com a capacidade de produção, as geometrias da cava e a geologia da jazida (BORGES, 2013). Assim, com o avanço da lavra, têm-se distâncias cada vez maiores para os camiões percorrerem, sendo às vezes necessário o aumento da frota ou até mesmo a alteração dos modelos por outros com capacidades maiores.

O processo de transporte de material realizado por camiões é o método mais usado na grande maioria das minas a céu aberto e representa a maior parte do custo operacional da mina. Dessa maneira, quando se busca ter um custo operacional competitivo é importante aumentar a eficiência operacional nesse processo. O custo desse processo é composto pelo alto consumo e elevado preço dos insumos e materiais que os camiões utilizam, dentre eles diesel, pneus e materiais mecânicos além de custos com mão de obra para operação e manutenção dos equipamentos. Segundo Chaves (2015), os custos totais de transporte por camião são referentes ao custo de capital e ao custo operacional, representando 72% e 28% respectivamente.

2.2.2. Camiões Fora de Estrada

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 nas minas a céu aberto.

Os camiões fora de estrada são os equipamentos de transporte mais utilizados na mineração a céu aberto, pois segundo SOUZA (2001) oferecem maior grau de flexibilidade num sistema de transporte e são especialmente indicados quando estão disponíveis vários minérios e fontes de minério (frentes de lavra).

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 de nosso cotidiano, 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. Na Figura 2, tem-se a imagem de um camião fora de estrada.



Figura 2: Camião Fora de Estrada

Fonte: 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 atuais de produção.

Pode-se encontrar no mercado diferentes fabricantes de caminhão fora de estrada, com modelos diferente, e 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 atividade. O sistema de tração dos caminhões pode ser de forma mecânica ou diesel-elétrica. Na Figura 3 é mostrado algumas medidas de um modelo de caminhão, mostrando toda a sua robustez.

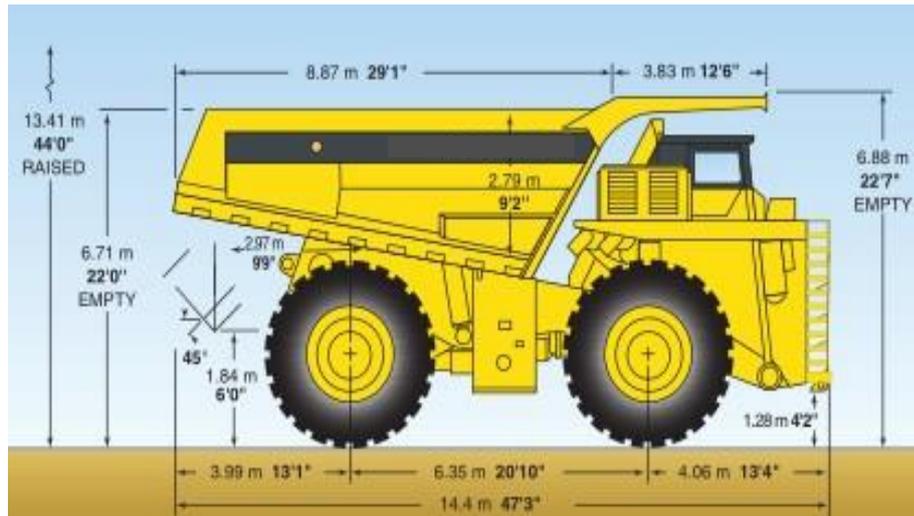


Figura 3: Medidas Camião Fora de Estrada

Fonte: Catálogo Komatsu (2012)

2.2.3. Operações de transporte por caminhões na mina a céu aberto

A operação de transporte consiste em transportar o material extraído da jazida até diferentes pontos de descarga. Esta fase tem início quando os caminhões são direccionados até uma determinada frente de lavra, de forma que, os equipamentos de carga que são alocados nas frentes retiram o material e posteriormente carregam os caminhões.

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.

Em resumo, o ciclo de um caminhão é composto pelas seguintes etapas: carregamento, deslocamento do caminhão cheio, descarregamento e deslocamento do caminhão vazio. Na Figura 4, é possível visualizar o ciclo de operações.



Figura 4: Ciclo de Operação de Carga e Transporte

Fonte: Adaptado de Coutinho

2.2.4. Vantagens e Desvantagens do Transporte por Camiões

O transporte por caminhões é o meio mais utilizado atualmente. Para LOPES (2010), algumas vantagens e desvantagens do transporte realizado por caminhões são descritas como sendo:

Vantagens:

- ❖ Alta flexibilidade operacional;
- ❖ Lavras simultâneas em várias frentes, facilitando a blendagem;
- ❖ Realocação dos veículos para produção de estéril;
- ❖ Facilidade de contratação de mão de obra;
- ❖ Independência entre os equipamentos de transporte;

Desvantagens:

- ❖ Baixa eficiência energética;
- ❖ Elevado tempo de deslocamento vazio;
- ❖ Limitada pela inclinação das vias (até 10% de inclinação);
- ❖ Custo elevado para abertura e conservação das vias;
- ❖ Afetado por intempéries.

2.3. Transporte por Correias Transportadoras

Segundo LOPES (2010), a utilização de sistemas de correias transportadoras para transportar o minério (ROM) proveniente das minas para as estações de britagem é cada vez mais acentuada, tanto por sistemas de transporte de curta e/ou longa distância.

Define-se correia transportadora como sendo um dispositivo de estruturas metálicas com componentes mecânicos e eléctricos.

LOPES (2010) define este método como um sistema motorizado que movimentam um tapete que circula por um leito apoiado a roletes e rolos, formando um sistema de fluxo de material que se inicia no carregamento, passa pelo transporte e termina na descarga.

O objectivo principal consiste na movimentação ou transporte de materiais a granel, por meio de uma correia contínua (correia transportadora), que se desloca sobre tambores e roletes. Consistem em dois ou mais tambores que movimentam uma superfície (esteira) para facilitar o transporte de determinados materiais ou objetos.

Segundo COUTINHO (2017), a montagem e desmontagem de correias transportadoras envolve várias etapas definidas no planeamento de mina. Nestas etapas são definidos os ritmos de produção, e, portanto, a velocidade e capacidade das correias; o layout, contemplando a inclinação, a elevação, os raios de curvatura e o comprimento; e o posicionamento, é definido pelo planeamento da mina.

Segundo Chaves (2015), os custos totais com o transporte por correia transportadora são originados pelo custo de capital, que representa 94% do custo total, e pelos custos operacionais, que representam 6% do custo total.



Figura 5: Correia Transportadora

Fonte: (ANDRADE e FARIA, 2004)

2.3.1. Classificação da Correia Transportadora

Segundo Garcia (2016), as correias transportadoras podem ser classificadas em três grandes grupos, de acordo com a mobilidade de montagem: fixa, móvel e portátil.

- **Fixa** - Transportadores de correia fixa possuem grande capacidade de transporte, baixo custo e uso amplo na indústria. São indicados para operações de localização definitiva, tais como mineração.
- **Móvel** - Transportadores de correia móvel são máquinas de escavação, utilizadas na operação de extração ou descarga contínua de minério a céu aberto. Possui a habilidade de mover-se ao mesmo tempo em que efetua a extração.
- **Portátil** - Correias transportadora portátil têm como principal característica poderem ser reposicionados conforme a necessidade de transporte. Para tanto, são fabricados em estrutura metálica, contendo rodas ou outro tipo de guia que permita a sua movimentação.

2.3.2. Composição de uma Correia Transportadora

As correias transportadoras permitem várias configurações, no entanto, os componentes de sua estrutura são os mesmos. Uma correia transportadora (Figura 6) envolve uma série de elementos que devem ser bem analisados, pois todos têm fundamental importância para o correto funcionamento do equipamento. Os principais componentes da correia transportadora são: Estrutura, Correia, Tambores, Roletes ou Rolos, Chutes, e Drive (conjunto de acionamento) – composto por um motor elétrico e um sistema de transmissão (reductor de velocidade).

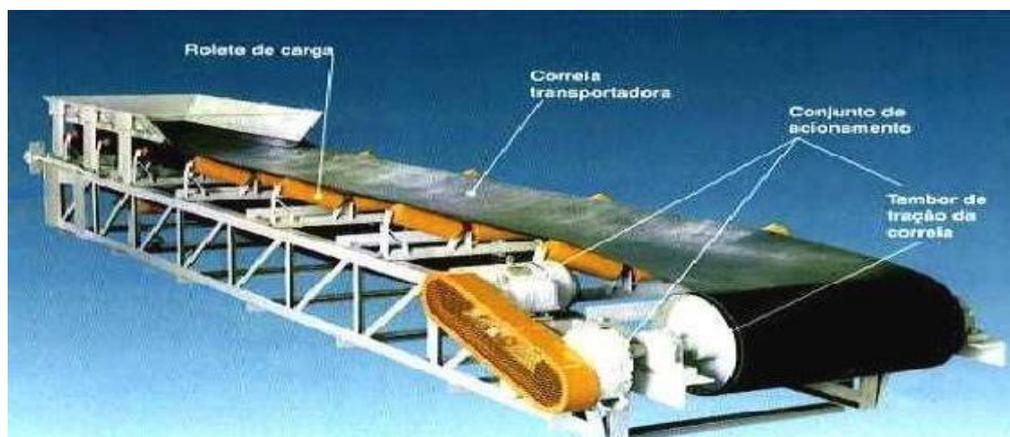


Figura 6: Componentes de uma Correia Transportadora

Fonte: Adaptado em 04/11/16 de Campos, 2013

Estrutura - é composta por todos os elementos de sustentação que envolve uma correia transportadora, tais como: apoio, torres, colunas, treliças, suportes e torre de transferência.

Correia - tida como a parte principal do transportador, por ser o componente que estará em contato direto com o material transportado, e que corresponde a um valor de 30 a 40 % do valor total do transportador. A correia têm a sua seleção baseada nos seguintes aspectos:

- Características do material transportado;
- Condições de serviço;
- Tipos de roletes;
- Largura (determinada por cálculo);
- Tensão máxima (determinada por cálculo);
- Tempo de percurso completo;
- Temperatura do material.

Tambores - construídos normalmente em aço, têm como função principal tracionar a correia para o funcionamento do transportador, sendo neste caso, papel exercido pelo tambor motriz, onde está acoplada a motorização. Com a movimentação da correia movem-se também os demais componentes e o tambor movido, que promove o seu apoio. Os tambores possuem também outras funções no transportador, tais como a de efetuar desvios e dobras na correia.

Roletes - são conjuntos de rolos, geralmente cilíndricos, e seus respectivos suportes. estes rolos podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e são instalados com o objetivo de dar suporte à movimentação da correia e guiá-la na direção de trabalho.

Chute - é um dispositivo afunilado destinado a receber o material transportado e dirigi-lo convenientemente à correia transportadora de modo a carregá-la equilibradamente e sem transbordamento da carga.

Conjunto de acionamento - Acoplado ao(s) tambor (es) motriz (es), tem a função de promover a movimentação do transportador e o controle de sua velocidade de trabalho. É constituído de um motor elétrico, acoplamentos hidráulicos, tambores, dispositivos de segurança e uma transmissão (reductor) e são projetados de acordo com o tipo de transporte e a potência transmitida. A figura abaixo ilustra alguns componentes da correia acima descrito.

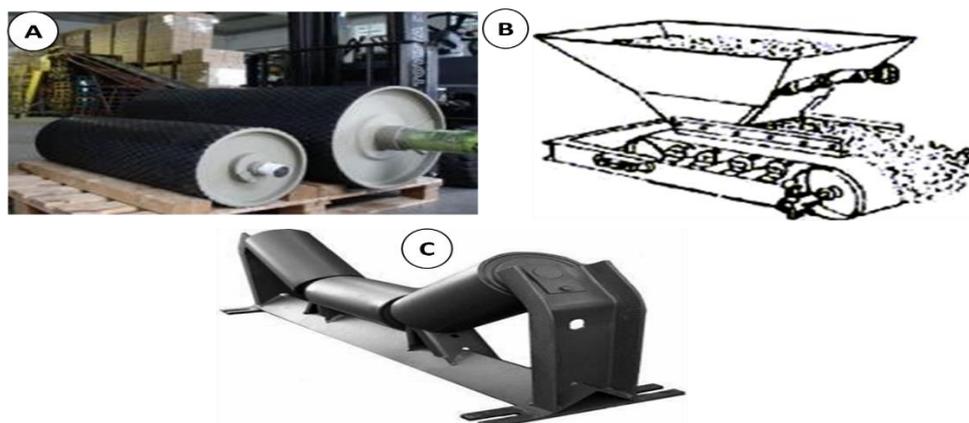


Figura 7: Alguns componentes da correia transportadora: Tambores de acionamento (A), Roletes(B), chute com comporta regulável (C)

Fonte: google

2.3.3. Vantagens e Desvantagens do Transporte por Correia Transportadora

Segundo COUTINHO (2017), algumas vantagens e desvantagens do transporte realizado por correias transportadoras são:

Vantagens:

- ❖ Suporta inclinações de até 30% sem perder eficiência;
- ❖ Facilidade de vencer obstáculos;
- ❖ Demanda energética uniforme;
- ❖ Baixo custo de manutenção;
- ❖ Pode gerar energia em transporte descendente;
- ❖ Reduz os custos com mão de obra;
- ❖ Não é afetado por intempéries;
- ❖ Riscos de acidentes reduzidos;
- ❖ Baixa emissão de gases e consumo de diesel;

Desvantagens:

- ❖ Baixa flexibilidade;
- ❖ Gera paradas na produção para realocação das correias;
- ❖ Requer planeamento detalhado de curto e médio prazo;
- ❖ Suscetível a danos durante as detonações;
- ❖ Granulometria limitada pelo sistema;
- ❖ Requer mão de obra especializada;

2.4. Avaliação dos Custos dos Equipamentos de Transporte

Os custos dos equipamentos são calculados, em função da hora de utilização do equipamento, pois permite a apropriação do tempo em que a máquina é usada nas diferentes operações. Para se atingir o objectivo é necessário conhecer as diferentes despesas dos equipamentos.

2.4.1. Custo Operacional

São custos que ocorrem, quando o equipamento é operado para realizar alguns trabalhos e guardam certa proporcionalidade com as horas do uso do equipamento. Por esta razão são também denominadas de custo variáveis. Podem-se citar como as principais despesas operacionais das máquinas: combustíveis, lubrificantes, graxa lubrificante, filtros, mão-de-obra, pneus e manutenção mecânica. (RICARDO; CATALANI, 2007).

Para as correias transportadoras são adicionados também o custo com consumo de energia eléctrica.

2.4.1.1. Consumo de Combustível

Devido ao facto de que o combustível é um dos itens mais vulneráveis à rápida elevação de preço, este item é um dos que mais oneram o custo de utilização de um equipamento.

O consumo de combustível depende em grande parte da potência do motor e das condições de uso. Para um motor *diesel* o consumo é aproximadamente 0,15 litros por HP*h desenvolvido. Sabendo que todo equipamento tem uma utilização descontínua é necessário aplicar um factor de potência f sobre a potência nominal do equipamento e este varia para a situações de uso **baixo (40%), médio (55%) e alto(75%)**.

$$C_C = 0,15 \times f \times HP \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

C_C : consumo de combustível,(l/h)

f : factor de potência

HP : potência do motor (kw)

2.4.1.2. Lubrificantes e Filtros

Segundo o Manual de Produção da Caterpillar é possível estimar o consumo horário, tanto de lubrificantes, como de filtros e graxa, através de tabelas fornecidas para cada tipo de equipamento.

Os lubrificantes utilizados em um equipamento são: óleo do carter do motor, de transmissão, do comando final e do sistema hidráulico. O seu consumo pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Q = \frac{H \times 0.6 \times \frac{0.0027 \text{ kg}}{\text{HP} \times h}}{0.893 \text{ kg/l}} + \frac{c}{t} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Q: consumo (l/h)

HP: potência do motor (HP)

C: capacidade do cárter (l)

t: intervalo de troca (h)

2.4.1.3. Mão-de-Obra

A determinação dos custos da mão-de-obra do operador depende do número de equipamentos a serem usados e também da oferta salarial de cada operador. O custo da mão-de-obra de operação corresponde aos custos do operador por hora de trabalho. A mão-de-obra é a única despesa operacional que ocorre mesmo quando a máquina está parada ou à disposição.

2.4.1.4. Pneus

O custo com pneus representa um item de grande importância no cálculo de custos operacionais, podendo ser estimado, baseando-se na sua vida útil.

Para alguns, o custo com pneus faz parte do custo de aquisição da máquina, devendo ser levado em consideração na depreciação do equipamento. Já em outros casos, este custo é subtraído do valor inicial, sendo preferencialmente incluído nas despesas operacionais, devido ao seu rápido desgaste.

Geralmente, são admitidas três zonas de aplicação para se verificar a vida útil do pneu, tendo que essas Zonas (A, B e C) variam de acordo com a severidade das condições de uso, reduzindo respectivamente a duração de sua vida útil. As zonas A, B e C podem ser caracterizadas como:

- **Zona A:** condições moderadas com trabalhos em trajetos longos, resistência total mínima, materiais não-abrasivos e estradas de transporte bem mantidas;
- **Zona B:** condições médias, condições da estrada de transporte variadas e alguma resistência alta ao rolamento;
- **Zona C:** condições severas, sendo a maioria das aplicações em material duro e rochoso e alta resistência de rolamento.

Tabela 1: Vida útil provável para alguns equipamentos

Equipamentos	Zona A	Zona B	Zona C
Carregadeiras	4.000/3.000h	3.000/2.000h	2.000/1.000h
Camiões fora-de-Estrada	4.000/3.000h	3.000/2.000h	2.000/1.000h

Fonte: Ricardo e Catalani, 2007

Portanto, se estimando a provável vida útil do pneu e tendo seu custo de aquisição, pode-se calcular o custo horário, Equação (3).

$$\text{Custo horário do pneu} = \frac{\text{Custo do pneu}}{\text{Vida útil do pneu}} \quad \text{Equação 3}$$

2.4.1.5. Consumo de Energia Elétrica

A energia elétrica é um fator importante a ser considerado nos custos operacionais das correias transportadora. Ao utilizar uma correia transportadora, é necessário considerar a quantidade de energia elétrica consumida pelo motor do sistema.

Esse cálculo é útil para determinar o custo de energia ou avaliar a eficiência energética do sistema de transporte. O cálculo do consumo de energia pela correia transportadora pode ser obtido utilizando a seguinte equação:

$$E_{el} = P \times \Delta t \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

P = potência consumida pela correia (kw)

Δt = tempo de operação da correia(em horas)

2.4.1.6. Manutenção

A manutenção pode ser definida como a técnica de conservar os equipamentos e componentes em serviço durante o maior prazo possível e máximo rendimento.

Na opinião de Ricardo e Catalani (2007), a manutenção mecânica é uma despesa operacional, que está diretamente relacionada ao processo de desgaste progressivo das peças, em virtude da utilização do equipamento.

De um modo geral a manutenção tem como objectivo: manter os equipamentos e máquinas em condições de pleno funcionamento para garantir a produção normal, qualidade do equipamento prevenindo assim as falhas ou quebras dos elementos das máquinas e prevenir os acidentes. A busca pela qualidade do processo e do produto passa pela qualidade da manutenção. Basicamente temos três principais tipos de manutenção, destacando-se:

- **A Manutenção Preditiva:** Actua na preservação e disponibilidade física do equipamento pois actua na prevenção de falhas, defeitos ou para evitar queda no desempenho, mas diferentemente da preventiva, só há intervenção quando algo é percebido por técnicas de análise, o que aumenta a probabilidade de defeito no equipamento.
- **A Manutenção Preventiva:** visa evitar as paradas de produção não planeadas, por falha ou desgastes nos equipamentos. Ela, também, busca prevenir acidentes e a degradação das linhas de produção.
- **A Manutenção Corretiva:** É a mais comum dentre os tipos de manutenção. Este tipo de manutenção é a que lida com as falhas dos equipamentos e peças, realizando o conserto pontual de cada uma delas. Para que a manutenção corretiva seja evitada, é necessário que os outros tipos de manutenção sejam realizados adequadamente.

Os custos horários de manutenção geralmente seguem uma escala ascendente. Enquanto o equipamento é novo, o risco de defeitos mecânicos é pequeno e a produtividade do equipamento elevada. Com o passar do tempo aumenta a incidência de reparos mecânicos, com longas paradas, afetando negativamente a produção.

Deve-se considerar que as condições em que um equipamento é aplicado afetam seu desempenho mecânico e que a manutenção preventiva, correta lubrificação e a operação racional influenciam no aumento da vida útil, reduzindo desgastes e retardando o envelhecimento do equipamento.

2.5. Tempo de Ciclo dos Equipamentos de Transporte

É o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinada operações. O tempo de ciclo total de uma operação é a somatória de tempo de todas as actividades que compõe essa operação.

2.5.1. Tempo de Ciclo dos Camiões

Segundo a CATERPILLAR (2012), o estudo dos tempos e movimentos característicos dos camiões, é dividido em fixos e variáveis, sendo o primeiro composto por: tempo de carga, tempo de descarga e tempo de manobras. (soma de manobras para carregamento e manobras para descarga). Já os tempos de transporte, carregado e vazio, somados formam o tempo de ciclo variável. A duração do tempo de ciclo é igual à soma dos cinco tempos, segundo a equação 5.

$$T_{\text{ciclo}} = T_{\text{MP}} + T_{\text{C}} + T_{\text{TC}} + T_{\text{MB}} + T_{\text{TV}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

T_{MP} : tempo de manobra e posicionamento (depende da configuração de operação e do espaço operacional)

T_{C} : tempo de carregamento

T_{TC} : tempo de transporte carregado

T_{MB} : tempo de manobra e basculamento

T_{TV} : tempo de transporte vazio

Por sua vez, o tempo de carga, número de passes e tempo de transporte carregado pode ser calculado pelas equações (6, 7 e 8) respectivamente:

$$T_{\text{C}} = T_{\text{ciclo da escavadora}} \times \text{N}^{\circ} \text{ de passes} \quad \text{Equação 6}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ de passes} = \frac{\text{volume do balde do camião}}{\text{volume do balde da escavadeira}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde: $T_{\text{TC}} = \frac{d}{vc} \quad \text{Equação 8}$

d: distância de transporte

vc: velocidade do camião

2.6. Ritmo de Produção

O ritmo de produção ou capacidade produtiva é um parâmetro que influi determinantemente em um estudo económico de viabilidade, isto é, metros cúbicos da rocha produzida por ano.

Este ritmo vem marcado fundamentalmente pelo mercado, que determina a produção anual a ser vendida. Porém, certos factores técnicos condicionam não só os ritmos mínimos por capacidade das máquinas, bem como o aumento da produção que não pode ser gradual mais sim escalonada, especialmente no processo de tratamento do minério onde as máquinas da lavaria condicionam o ritmo de exploração.

Há uma relação entre o volume de reservas prospectadas e prazo de exploração das mesmas para uma empresa mineira. Na prática mundial de projecção o prazo razoável de exploração de minas ($T_{\text{vida útil}}$) em primeira aproximação pode ser determinado pela fórmula de Taylor:

$$P = 0,15 \times R^{0,75} \times (1 \pm 0,2) ; \text{ Milhões de tonelada/ano} \quad \text{Equação 9}$$

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

$$T = \left(\frac{\text{Reserva}}{\text{ritmo de produção}} \right) = \left(\frac{R}{p} \right); \text{ anos} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

R : reservas exploráveis da mina,

P : ritmo de exploração, t/ano;

T : vida útil da mina (prazo racional de exploração de reservas), anos;

CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

3.1. Localização Geográfica

A chaminé kimberlítica de Catoca situa-se no Nordeste da República de Angola, na parte Noroeste da Província da Lunda-Sul. Regionalmente, a Lunda-Sul avizinha-se ao Norte com a província da Lunda-Norte, ao Sul com a província do Moxico, ao Oeste com a Província de Malanje e ao Leste com a República Democrática do Congo (Zaire). O território da área de concessão da SMC encontra-se na folha topográfica 121- SG-34 (1:1.000.000) do cadastro topográfico do estado, numa região situada nos limites entre as Lundas norte e sul, e ocupa uma área de 340km², delimitada pelas coordenadas geográficas indicadas na tabela abaixo.

Tabela 2: Coordenadas geográficas Sociedade Mineira de Catoca

Coordenadas Geográficas							
Vert	Latitudes			Longitudes			Altitudes (Z)
A	9°	18′	25″	20°	15′	00″	937 – 1005 m
B	9°	18′	25″	20°	24′	05″	
C	9°	30′	05″	20°	24′	04″	
D	9°	30′	04″	20°	14′	58″	

Fonte: Endiama



Figura 8: Mapa de Localização da Sociedade Mineira de Catoca (SMC)

Fonte: Relatório Catoca (2001)

3.2. Vias de Acesso

O transporte de mercadorias (cargas e equipamentos), proveniente de outros países, realiza-se por via marítima e aérea até a cidade de Luanda, para posteriormente serem levados a Catoca nos aviões.

No passado o tráfego das cargas ou mercadorias era realizado depois de Luanda para o aeroporto de Saurimo, do aeroporto para Catoca o tráfego era realizado através de camiões. Devido ao longo percurso e tempo de demora das mercadorias chegarem a Catoca, decidiu-se realizar a construção de uma pista de aeroporto em Catoca. Após o surgimento do aeroporto o transporte após Luanda foi diretamente direcionado à mesma.

Dentro da área de concessão da Mina de Catoca, as vias rodoviárias entre as diferentes zonas industriais e sociais, algumas estradas são asfaltadas e outras de terra-batida.

O acesso à Mina de Catoca é feito pela estrada nacional n.º 230 que liga as províncias de Luanda – Lunda Sul, é também feito por via aérea no aeródromo de Catoca (Figura 9).



Figura 9: Vias de Acesso e Aerodromo de Catoca

Fonte: André da Costa

3.3. Generalidades Sobre a mina de Catoca

A chaminé de Catoca foi descoberta pelos garimpeiros em 1968, por uma “pluma” de diamantes encontrados nos ribeirinhos **do riacho Catoca e rio Lova**. Segundo a história “crença popular” Catoca significa “perdido, aquele que foi e não voltou”. Porque muitos garimpeiros sem condições de segurança acabavam escorregando e/ ou morrendo nas escavações ou buracos feitos por eles com objectivo de encontrarem diamantes.

A exploração do kimberlito da Mina de Catoca teve o início a 11 de Fevereiro de 1997, isto é, considera-se esta data como o dia da Mina de Catoca, com um tempo de vida inicialmente previsto para 40 anos até a profundidade de 400 m. Em 2011 foi elaborado novo projecto para optimização das condições técnicas-económicas de aproveitamento do jazigo, tendo como resultado os seguintes principais parâmetros apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Resultado dos Principais Parâmetros de Optimização

Parâmetros	Variantes
1-Profundidade de exploração	600 m
2-Período de exploração	2011- 2034 anos
3-Tempo de vida útil	23 anos
4-Volume de minério (reservas de exploração)	207,3×10 ⁶ ton
5-Volume de estéreis	159,4×10 ⁶ m ³
6-Volume de massa mineira	254,9×10 ⁶ m ³
7-Coefficiente de estéril	0,77 m ³ /ton

Fonte: Relatório Catoca (2011)

3.4. Geomorfologia e Hidrografia da Região

A região da área de concessão representa uma planície monótona que é a parte Leste do Planalto de Lunda com a inclinação geral da superfície na direcção do Sul ao Norte e com as cotas absolutas de 1078 a 1036m nos interflúvios e de 1000 a 900m nos vales dos rios.

3.4.1. 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 seca que se prolonga de Maio a Agosto (figura 3). A temperatura diária média, durante o ano constitui +22,5 -22,8°C. A velocidade média do vento cifra-se em 2,0-2,5 m/s. A temperatura média anual varia entre 22 - 24°C, sendo os meses mais quentes os meses de Outubro a Maio atingindo temperaturas máximas superiores a 32°C.

As temperaturas mínimas atingem-se nos meses de Junho a Setembro, estas podem chegar até aos 14°C. A humidade relativa média anual desta região atinge valores de 70 a 75 %.



Figura 10: (A,B) Imagens ilustrativas do clima da região leste de Angola SMC

Fonte: Relatório (SMC 2011)

3.4.2. Fauna e Flora

A vegetação da área em estudo é do tipo savana herbácea, caracterizada por árvores de pequeno e médio porte, arbustos e capim alto ou baixo em função da estação do ano e, possui ainda uma vegetação de floresta densa, com árvores de grande porte, que circunda os vales dos rios quanto à fauna, na região há abundância de diferentes animais tais como: javalis, hipopótamos, crocodilos, lagartos e serpentes, afastados dos aglomerados populacionais, devido as constantes movimentações resultantes da atividade mineira na região, embora alguns repteis ainda podem ser vistos junto aos acampamentos (figura 11).



Figura 11: (A, B) Fotos da fauna e flora típica da região

Fonte: Relatório SMC (2011)

O território da concessão representa uma savana típica - estepe tropical com uma abundante cobertura herbácea e raras árvores e arbustos. (Figura 12).



Figura 12: Savana típica-estepe tropical com uma abundante cobertura herbácea

Fonte: google earth 2015

3.4.3. Hidrografia

A rede hidrográfica da região também está orientada na direcção Norte e faz parte da bacia de uma grande artéria fluvial-rio Congo. São rios Luembe, Chicapa, Luachimo, Chiumbe, Luxico e outros, que ocorrem sub-paralelamente do Sul ao Norte. Os vales dos mesmos são abertos e têm forma de U e V. São rios de médio comprimento, frequentemente com pedregais, são impróprios para navegação, mas que possuem recursos hídricos potenciais; destaque para o rio Chicapa, que ocorre ao longo do limite Leste da área de concessão de Catoca (Figura 13).



Figura 13: (A,B) Recursos hídricos do rio Chicapa

Fonte: Relatório catoca 2011

3.5. Geologia do Jazigo

A chaminé de Catoca está situada na ladeira oeste do escudo Cassai, composto pelo complexo pré-câmbrico de rochas cristalinas, na qual podemos encontrar kimberlitos cretácicos que atravessam a estrutura de rochas cristalinas. As rochas encaixantes da chaminé kimberlítica de Catoca são gnaisses pré-câmbrianos que apresentam diferentes composições e diferentes graus de meteorização. Estas rochas possuem composição feldspato-piroxénica, com veios e intercalações de quartizitos e xistos quartzito-biotíticos. As rochas sobrejacentes, que são areias de formação paleogénico-neogénica de Kalahari, sedimentos aluviais e arenitos.

Os kimberlitos e as rochas Vulcano-sedimentares diamantíferas, das fáceis de cratera do jazigo de Catoca, tem a sua génese intrinsecamente associada à formação do próprio corpo mineralizado, e estão representadas pelas seguintes litologias:

- ✓ Brechas kimberlíticas com uma textura maciça do cimento (**BKM**);
- ✓ Brechas kimberlíticas autolíticas (**BKA**);
- ✓ Tufos kimberlíticos, brechas tufáceas e tufos-gravalitos com intercalações de arenitos tufáceas (**BTK**);
- ✓ Arenitos, arenitos tufáceas, tufos-aleurólitos e argilitos (rochas Vulcano sedimentares - **RVS**);
- ✓ Rochas kimberlíticas da Zona de transição (**ZT**);
- ✓ Zona xeolítica composta por rochas kimberlíticas do substrato do complexo vulcanogénico-sedimentar, saturadas em abundância com os xenólitos degnaises encaixantes(**ZX**).

A delimitação de blocos e categorização das reservas foram efectuadas em função do grau atingido de prospecção geológica, densidade de demarcação e amostragem. No âmbito desses parâmetros, a chaminé de Catoca está prospectada: até a profundidade de 200m (horizontes de +960 - +760m) – a nível da categoria B, no intervalo de 200-400m (horizontes de +760 - +560m) – a nível da categoria C1, e no intervalo de 400-600m as reservas têm sido avaliados a nível da categoria C2. Com base nos materiais elaborados pelo Instituto “Iakutniprolamaz”, foi adoptado como parâmetro-limite dos requisitos para a avaliação das reservas de diamantes, o mínimo teor de mineralização de 0,15 qlt/ton.

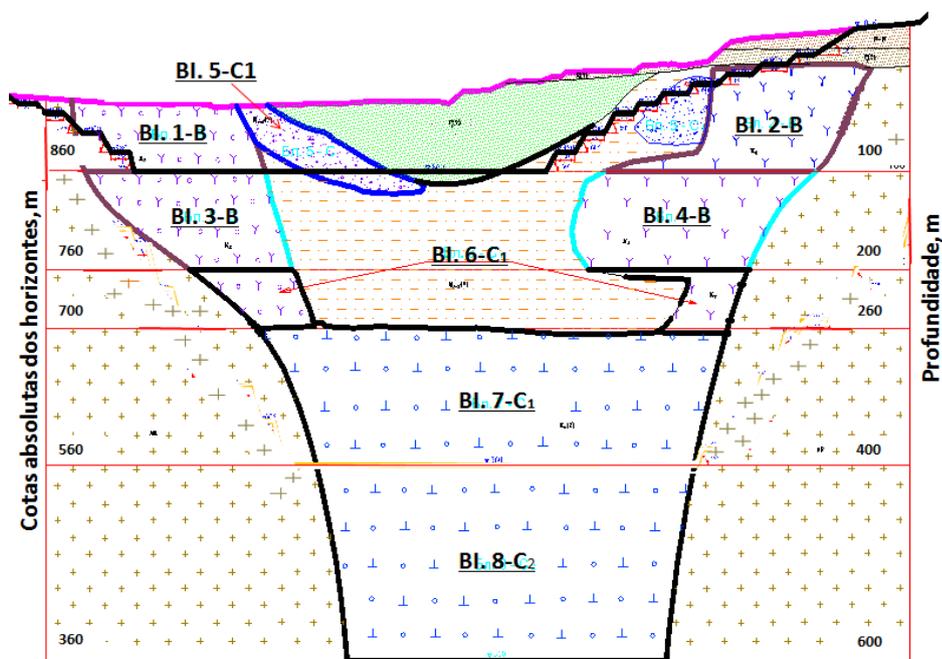


Figura 14: Corte de delimitação dos blocos de reserva

Fonte: Relatório de Catoca (2001)

CAPÍTULO IV - ESTUDO DE CASO

O caso em estudo é uma mina de diamante à Céu Aberto, localizada na província da Lunda Sul. A exploração do kimberlito de Catoca teve início aos 11 de Fevereiro de 1997 com um tempo de vida inicialmente previsto para 40 anos até a profundidade de 400 m. A chaminé kimberlítica ocupa uma área de 64 hectares (990×915m), devendo a Mina atingir o seu limite final um diâmetro aproximado de 1650×1650m. A Mina de Catoca possui 639 mil metros quadrados de extensão. Emprega mais de 3.300 funcionários, e é a 4ª maior diamantífera do mundo.

4.1. Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira

O Departamento de Exploração Mineira agrega 4 Sectores, nomeadamente: 1)Administração, 2) Planeamento Minério e Análise, 3)Trabalhos de Detonação e 4)Trabalhos preparatórios.

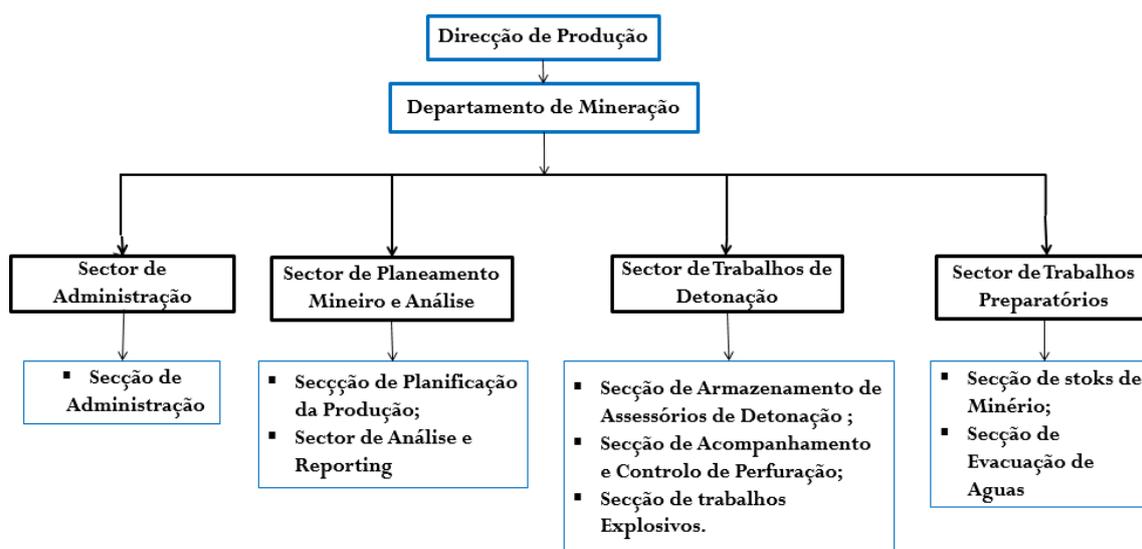


Figura 15: Organograma do Departamento de Exploração Mineira

Fonte: [Catoca]

4.1.2. Objectivos do Departamento de Mineração

O departamento de mineração é a estrutura na empresa focada no desenvolvimento das actividades de mineração, com base em regra e princípios específicos, para garantir a remoção do estéril e a extração racional e otimizada do minério da chaminé kimberlítica e seu respectivo fornecimento as Centrais de Tratamento.

4.2. Sistema de Mineração

A chaminé kimberlítica de catoca é explorada a céu aberto, utilizando o sistema de mineração com escavação por avanço e transporte combinado (camiões/correias). O esquema tecnológico inclui o desmonte direto do maciço de estéril, com a particularidade das rochas duras serem submetidas ao desmonte com explosivos e posteriormente carregadas com escavadoras para as pilhas de estéril ou escombreciras. A extração do minério é feita mecanicamente com recursos a escavação direta precedida de escarificação com tratores de esteiras e buldózers.

Para assegurar à estabilidade das taludes e permitir que o desenvolvimento das operações de extração seja realizado de uma maneira sustentada, minimizando alguns riscos de acidentes e custos operacionais dos transportes, o sistema de mineração obedece aos seguintes parâmetros: (Zvonarev, 1999).

- A altura das bancadas de trabalho é de 5 – 10 m;
- A altura das bancadas inoperacional é de 10 – 30 m
- A largura da frente de mineração é de 30 – 60 m;
- A largura das banquetas (bermas) é projetada entre 20 – 30 m;
- Ângulo dos Taludes (kimberlitos e areias) é de 30 – 45°
- Ângulo dos Taludes (gnaisse) é de 60 – 75°



Figura 16: Chaminé da Mina de Catoca

Fonte: relatório SMC (2018)

4.2.1. Planeamento e Operações

O design e o planeamento da sequência das operações mineiras, a monitorização em tempo real, assim como o estudo e análise dos principais indicadores da Mina é assegurado pelo **Sector de Planeamento Mineiro**, que mantém uma forte interação com os demais Sectores do **Departamento Minério**.



Figura 17: Ciclo de operações mineiras

Fonte: Relatório SMC

4.3. Softwares Usados para o Suporte das Atividades do Planeamento das Operações

O *design* e o planeamento é feito com recurso ao *software* “Wenco”. O sistema *Wenco* foi concebido para automatizar a frota da mina. Este sistema permite saber a localização dos equipamentos em tempo real, os seus tempos dos ciclos, condição do equipamento, trajeto do equipamento de transporte e outras informações, ou seja, este sistema permite uma gestão integral e em tempo real dos processos de carga e transporte da massa mineira, de forma a se poder controlar a eficiência das operações e o nível de produtividade.

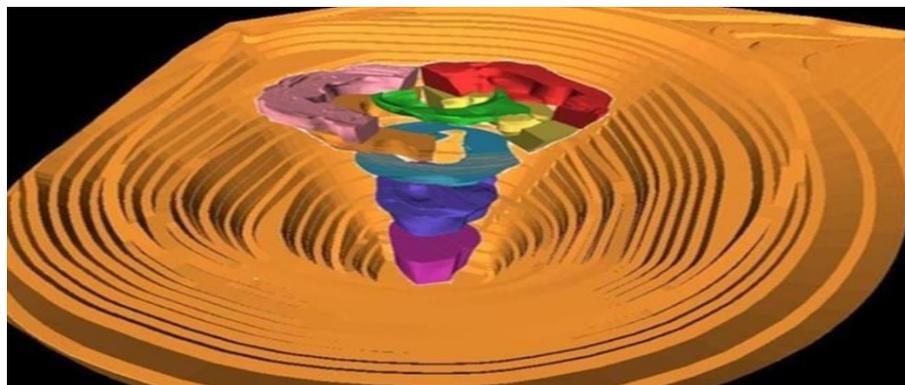


Figura 18: Projecção da mina Catoca

Fonte: relatório catoca

4.4. Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados na mina caso de estudo, são classificados como:

- **Equipamentos principais** - são aqueles indispensáveis para a realização dos trabalhos de carga e transporte do mineral.
- **Equipamentos auxiliares** - são aqueles que auxiliam para a realização dos trabalhos dos equipamentos principais, e o saneamento da mina. Como listado na tabela abaixo.

Tabela 4: Lista dos Equipamentos Principais e Auxiliares utilizados na mina de Catoca

Equipamentos	Modelos	Capacidade	Unidades/frota
Camiões	Rígidos Belaz 75139	136 Toneladas	18
	Rígidos Caterpillar 777	100 Toneladas	5
	Rígidos Komatsu HD 785	100 Toneladas	25
	Articulados Volvo A40	40 Toneladas	17
Escavadeiras	Caterpillar 385/390	14-16 m ³	1
	Komatsu PC 3000	12-14 m ³	3
	Liebherr 984	5-7 m ³	5
	Liebherr 9250/9350	9-13 m ³	1
	Caterpillar 6040	18-22 m ³	3
Pás	Komatsu WA600/700	47 m ³	9
Carregadeiras	Caterpillar 992/986/980	4,5-5m ³	4
Auxiliares	.....	.....	20
Correias Transp	.....	2,1km/3,5km	Fase 1/Fase 2

Fonte: Relatório (SMC – 2017)



Figura 19: Equipamentos utilizados

Fonte: O autor

4.5. Planificação da Mina

Os estudos de planificação da mina , ajudam na gerência com a avaliação de varias alternativas de planeamento para escolher, aperfeiçoar e implementar as opções mais viáveis e alinhadas com os objectivos da empresa. Esse processo é cíclico já que os planos da mina são constantemente actualizados para ajustar-se as mudanças no ambiente de negócios. A tabela abaixo apresenta a planificação da massa mineira, estéril e mineiro para o ano de 2023.

Tabela 5: Planificação da massa mineira da mina de catoca para o ano de 2023

Designação	I trimestre			II trimestre			III trimestre			IV trimestre		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Esteril	852,3	795,2	880,8	852,1	880,8	852,3	880,8	880,8	852,3	698,4	675,8	698,4
Min (m³)	466,9	428,9	502,8	487,9	504,7	545,1	498,1	535,3	504,8	515,8	445,3	484,3
Min (t)	861,2	787,4	892,9	860,3	879,9	973	1 006,50	998,3	936,9	958,7	934,3	1 010,20
total estéril (mil m³)			total minério (mil m³)				total minério (mil t)					
9800			5920				11100					
MASSA MINEIRA TOTAL (mil m³)											15720	

Fonte: Relatório wenco-SMC (2023)

Segundo projecto para optimização das condições técnicas-económicas de aproveitamento do jazigo, realizado em 2011, foi prevista que a mina de Catoca deverá ser explorada num período de 23 anos, e segundo o plano de produção para o ano de 2023 foi previsto, uma capacidade produtiva de 15720 mil m³ da massa mineira.

4.6. Regime de Trabalho

A mina de catoca tem um regime de trabalho de 365 dias/ano, 7 dias por semana com 3 turnos de 8 horas de trabalho por dia, fazendo um total de horas trabalhadas por dia de 24h/dia. Sabendo que os dias de trabalho são de 365 dias/ano, as horas/ano será de 8760 h/ano (24h/d×365d/ano). Assim sendo, o regime de trabalho resultam em 8760 horas totais por ano.

Mas deve- se levar em consideração de que o funcionamento de uma máquina não é durante o tempo do regime de trabalho, mais sim durante um determinado período diferente da mesma, pois devem ser levados em conta os coeficientes de disponibilidade e de utilização da máquina. A tabela abaixo apresenta as horas tralhada pelos camiões.

Tabela 6: Horas trabalhada pelos camiões de janeiro a junho de 2023

Equipamentos		Volvo A40	kom HD785	Cat 777	belaz75139
HT(frota)=HEF + AO					
Hora Efectiva de Op	HEF	40098,4	68157,0	9757,3	34906,4
Atraso Operacional	AO	3327,8	1956,4	235,6	1333,3
Horas Trabalhadas	HT	43426,2	70113,4	9992,9	36239,4

Fonte: O autor

4.7. Cálculo da Produtividade dos Equipamento de Carregamento e Transporte

A 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:

$$Ph = \frac{Pa}{HTa \times Dm \times 0,85} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

Ph: Produção horária efectiva

Pa: Produção anual requeriada (massa mineira)

Hta: Horas teóricas por ano =8.760

Dm: Disponibilidade das máquinas= 80%

Em: Eficiência da mina (Em) =85%

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

$$Vb = \frac{Ph \times tc \times Fe}{60 \times K \times Hop \times Ef} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

Ph : Produção horária efectiva (m3/h)

Tc : tempo de ciclo da escavadora (0.52)

K : Fator de enchimento do balde (85%)

Hop : Habilidade do operador/ Eficiência (90%)

Ef : Eficiência geral de operação (85%)

Factor de empolamento (Fe) =1,3

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

$$P_{teor} = \frac{Pa}{Hta} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

Pa: produção anual

Hta: horas de trabalho por ano(8760 horas/ano)

Número de escavadora (n_{esc})

$$n_{esc} = \frac{\text{produção horária efectiva}}{\text{produção teórica}} \quad \text{Equação 14}$$

4.7.1. Cálculo da Produtividade dos Camiões

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

Escavadora com pá frontal: 3 a 5 passadas

Volume do balde (V_b)

Número de passada (n)

Carga Útil (C_u) = $n \times v_b \times k$

Multiplicando o valor da carga útil pela densidade do minério (2,09 t/m³), teremos a carga útil transportada por cada camião em toneladas. A tabela abaixo apresenta a produção do primeiro semestre de 2023, realizadas pelos camiões na mina de Catoca.

Tabela 7: Produção dos camiões Iº semestre 2023

Modelo	Volvo A40	kom HD785	Cat 777	Belaz75139	TOTAL
Cap. balde	40t	100t	100t	136t	
Un. utilizada	17	25	5	18	
mil m ³	824	3 061	474	1 942	6 300
mil t	1 908	7 866	1 158	5 214	16 147

Fonte: Relatório wenco

4.7.2. Cálculo do Tempo de Ciclo dos Camiões

Como base de comparação do tempo de ciclo dos camiões, trabalhamos com as unidades de transporte belaz 7513 com capacidade 136t, e komatsu HD785 com capacidade 100t. E com base no equipamento de carregamento utilizamos a escavadora caterpillar 6040 com capacidade de balde de 22 m³. Para tal calculamos o tempo de ciclo dos camiões durante a transportação do material (estéril), carregado em horizonte 840N e, percorrendo uma distância de transporte 3,625 km dentro da mina de catoca.

Tabela 8: Ciclo de transporte do material estéril no horizonte 840N utilizando o camião Belaz (136 t) carregado por uma Escavadeira caterpillar 6040

Equipamento de carga	Escavadeira Caterpillar 6040
Equipamento de transporte	Camião Belaz
Horizonte	840N
Material a transportar	Gnaisse
Localização	Zona norte/escombreira oeste
Carregamento	1,55 min
Descarga	0,27 min
Transporte carregado	11,27 min
Volta (vazio)	8,7 min
Distância	3.625km
Manobra de descarga	30 s
Manobra para o carregamento	60 s

Fonte: Relatório SMC(2017)

Caso prático:

1. ° Demonstração - camião belaz

Calculamos o tempo de ciclo dos camiões apartir da equação (5).

$$T_C = 1,55 \text{ min} \quad T_{\text{ciclo}} = T_{\text{mp}} + T_c + T_{\text{tc}} + T_{\text{mb}} + T_{\text{tv}}$$

$$T_{\text{TC}} = 11,27 \text{ min} \quad T_{\text{ciclo}} = 1,55 + 11,27 + 8,7 + 1 + 0,5045$$

$$T_{\text{TV}} = 8.7 \text{ min} \quad T_{\text{ciclo}} = 23 \text{ min}$$

$$T_{\text{MP}} = 1 \text{ min}$$

$$T_{\text{MB}} = 0,0045 + 0,5 = 0,5045 \text{ min}$$

Portanto, foram necessários 23 minutos para o camião belaz realizar o tempo de ciclo, desde o ponto de origem até ao seu regresso no mesmo ponto.

a) Número de viagens por turno

O número de viagens por turno pode ser calculado aplicando a regra de três simples.

Dados: 1 viagem ----- 23min

H/dia = 24h N° viagens/hora----- 60min

Hturno= 8h

Tc = 23min
$$\text{N}^\circ \text{ viagens/hora} = \frac{1 \text{ viagem} * 60 \text{ min}}{23 \text{ min}} = 2,6 \text{ viagens}$$

2,6 viagens ----- 1h

N° viagens/ turno----- 8

$$\text{N}^\circ \text{ viagens/turno} = \frac{2,6 \text{ viagens} * 8 \text{ h}}{1 \text{ h}} = \mathbf{13 \text{ viagens}}$$

2.º Demonstração - Camião komatsu HD 785

Com base nas formulas acima demonstrada, e a tabela (1) em anexo, obtivemos um tempo de ciclo 19 minutos, e 16 viagens por turno. Isso mostra nos que o camião komatsu HD785 apresenta menor tempo de ciclo.

Tabela 9: Especificações do camião BELAZ75139

Marca	Modelo do motor	Potência do motor (kW)	Capacidade do balde (t)	Velocidade máx. (km/h)	Tanque de combustível (l)	Pneus padrão
BELAZ 75139	Cummins KTA50-C	1.194	136 t	48	740	33h00-51

Fonte: belaz



Figura 20: camião belaz 75139

Fonte: Google

4.7.3. Produtividade da Correia Transportadora

A produção horária da correia transportadora pode ser calculada baseando-se na fórmula global da produtividade dos equipamentos, com base na disponibilidade física (DF) do equipamento. Calculamos a produção horária efectiva mediante a seguinte expressão:

$$Ph = \frac{Pa}{HTa \times DF \times 0,85} \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

Ph: Produção horária efectiva

Pa: Produção anual requerida (massa mineira)

Hta: Horas teóricas por ano = 8.760

DF: Disponibilidade física = 75 a 80%

Em: Eficiência da mina (Em) = 85%

4.7.3.1. Capacidade de Carga da correia transportadora

Calculamos a capacidade da correia usando a correlação de Liddel.

$$C = (A * V * \rho S) / 151 \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

C: capacidade em t/h

ρS : densidade do material em t/m³

A: é a área transversal do sólido em cm²

V: velocidade da correia em m/s – A escolha da velocidade dependendo do tipo de material a ser transportado, de acordo o tipo de material extraído na mina de catoca, a velocidade não deve ser menos de 1.6 m/s e nem mais de 4,1 m/s. (Procel. 2009), como mostra a tabela(2) em anexo.

Tabela 10: Produção da correia transportadora fase 1- 1º semestre 2023

Indicadores	Plano	Real	R/P
mil m3	1 716,6	828,1	48%
mil t	3 783,4	1 769,6	47%

Fonte: Relatório wenco 2023

Gráfico 1

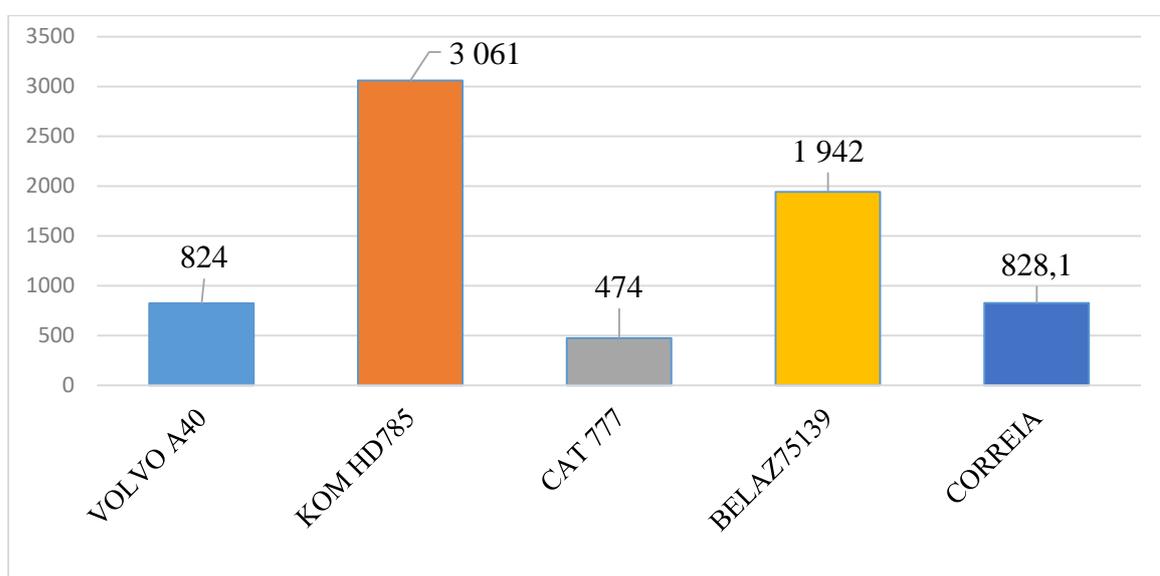


Gráfico 2

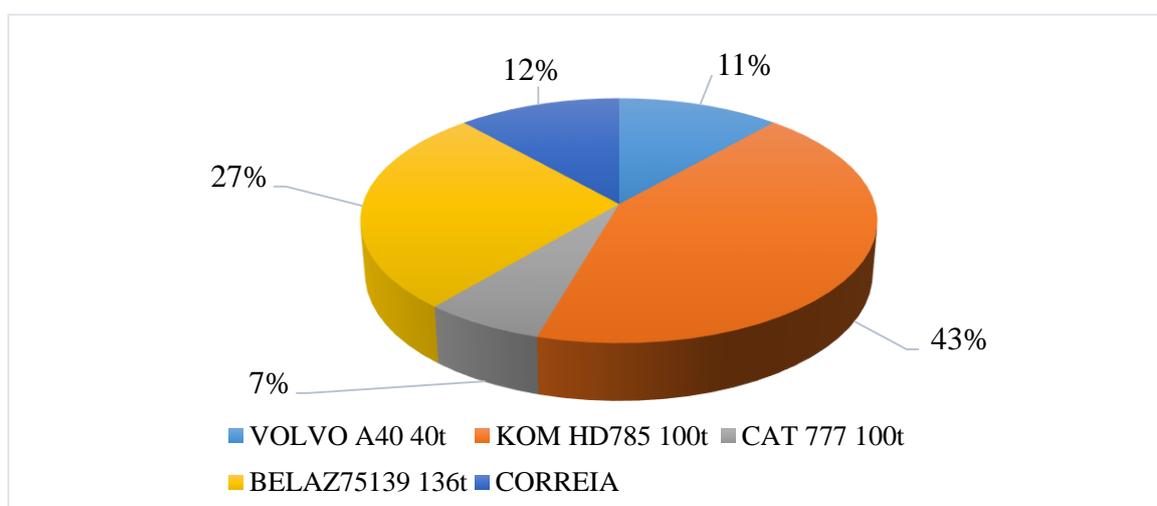


Gráfico 1 e 2: Produção dos equipamentos de transporte em m3 do primeiro semestre - 2023.

Fonte: O autor

CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado a análise dos resultados técnicos e econômicos. Essa análise dará ao tomador de decisão uma visão técnica e econômica dos cenários de produção analisados de tal modo que se opte pelo cenário que atenda às metas de produção e minimize seus custos.

5.1. Custos Operacionais Gerados com a Transportação

Os custos gerados com a transportação da massa mineira, foram calculados baseando-se em estimativas do projeto em estudo, estes valores foram separados de acordo com os equipamentos comparados. As tabelas (11 e 12) mostram os custos operacionais gerados pelos caminhões e correias transportadoras.

Tabela 11: Custos Operacionais dos Camiões de Janeiro a Junho 2023

Designação	unidade	Plano	Real	% Plano	%Real
MÃO DE OBRA	mil \$	2 843	2 843	14,08	14,16
MATERIAIS		12 796	12 731	63,37	63,42
Combustível e Lubrificantes		5 552	5 604	27,49	27,92
Peças de Reposição		3 774	3 722	18,69	18,54
Pneus e Camara		3 405	3 353	16,86	16,7
Outros Materiais		65	52	0,33	0,26
Custos de Manutenção		4 553	4 501	22,55	22,42
CUSTO TOTAL			20.192	20.075	100	100

Fonte: Relatório Wenco

Tabela 12: Custos Operacionais da Correia Transportadora de Janeiro a Junho

Designação	unidade	Plano	Real	% Plano	%Real
MÃO DE OBRA	mil \$	765,89	707,02	24,43	21,12
MATERIAIS		625,47	940,76	19,95	28,11
Peças de Reposição		90,00	631,24	2,87	18,86
Eletricidade		535,47	309,52	17,08	9,25
Outros Materiais		0,00	0,00	0	0
Custos de Manutenção		1 743,42	1 699,39	55,62	50,77
CUSTO TOTAL		3.134,78	3.347,17	100	100

Fonte: Relatório Wenco

O estudo comparativo considera dois tipos de equipamentos de transporte da massa mineira utilizada na mina de Catoca, estes são: camiões fora de estrada (tabela 11) e correias transportadoras (tabela 12). Neste cenário, o custo operacional gerado pelas correias transportadoras é de **3.347,17 mil \$** ao passo que o custo dos camiões foi de **20.075 mil \$**.

Os gráficos abaixo mostram que os custos operacionais das correias transportadoras é mais baixo quando comparado aos custos dos camiões.

Gráfico 3

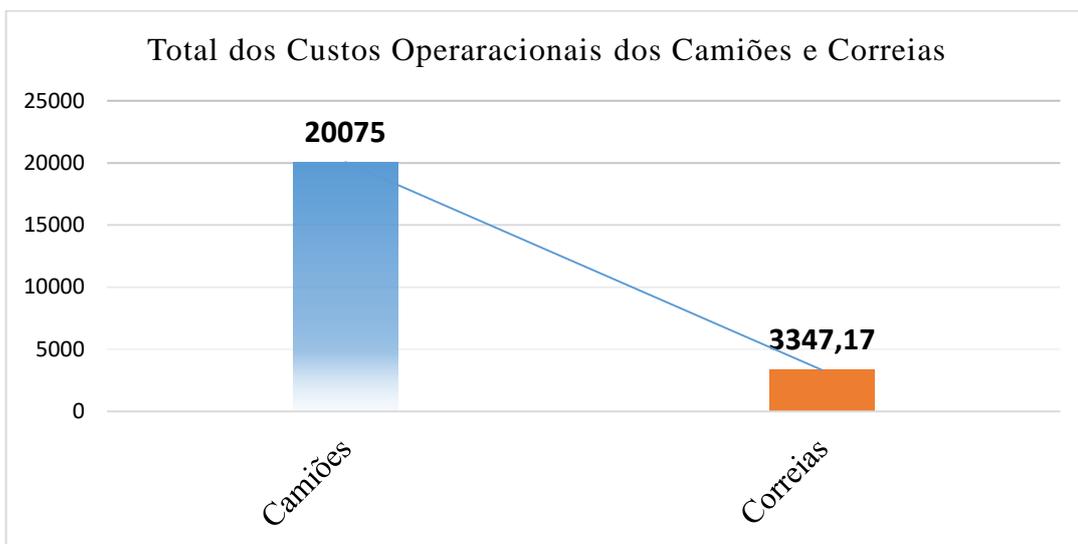


Gráfico 4

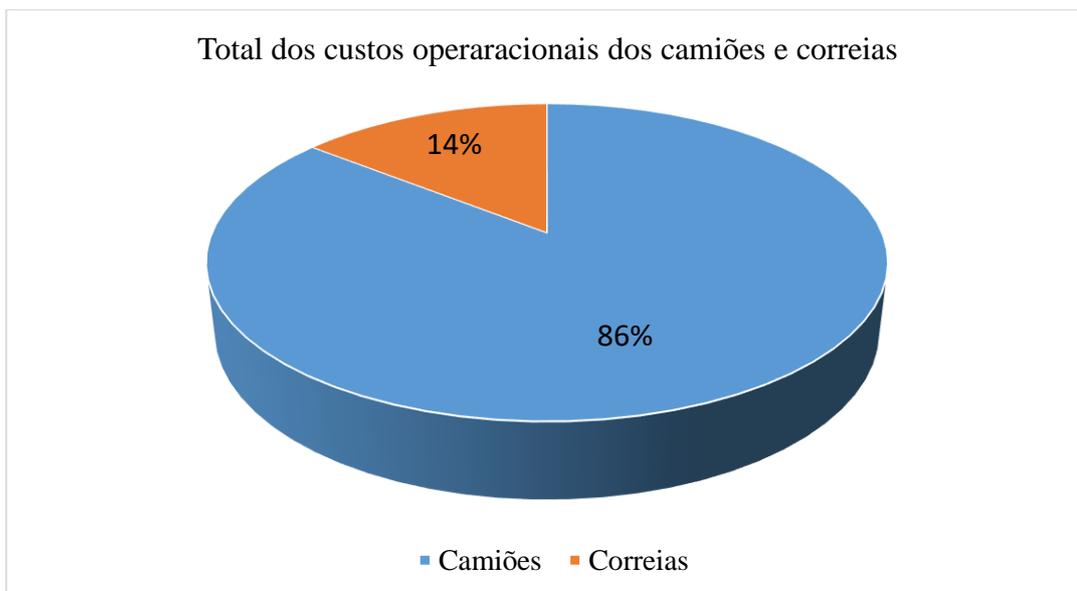


Gráfico 3 e 4 -Total dos Custos Operacionais dos Camiões e Correias.

Fonte: O autor

5.2. Custos de Produção dos Equipamentos de Transporte

Os custos de produção em dólar por metros cúbicos de material transportado, é resultado da multiplicação do custo unitário por metros cúbicos ($\$/m^3$) com produção dos equipamentos. São apresentados os custos dos equipamento comparados (camiões e correia) na tabela 13.

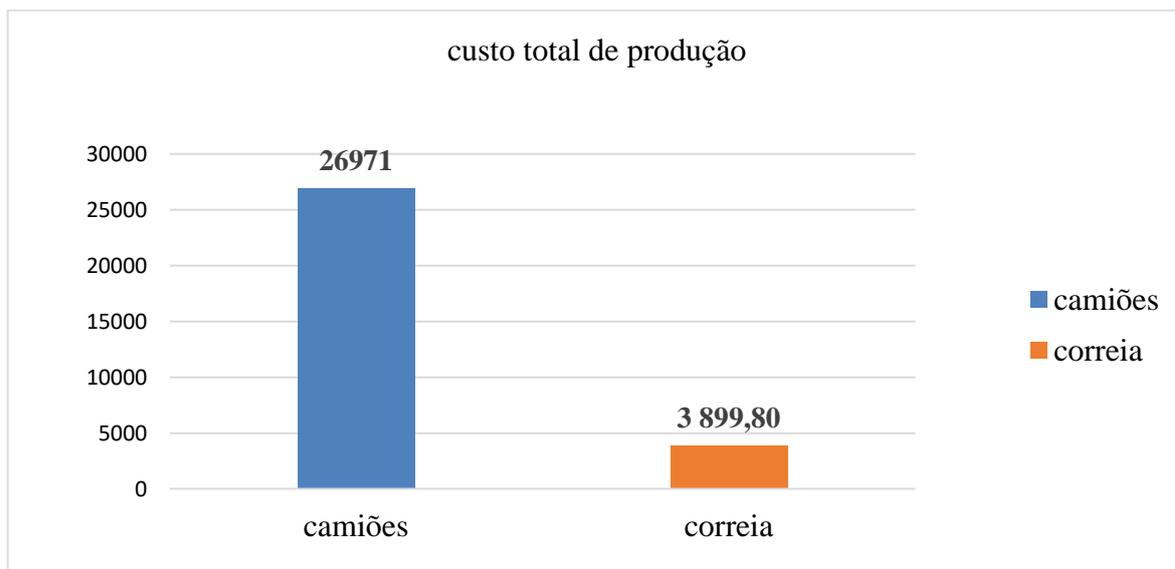
Tabela 13: Custos por metros cúbicos do primeiro semestre-2023

Custos total	Unitario		Produção	
	$\$/m^3$	$\$/t$	$\$/m^3$	$\$/t$
Designação				
Camiões	4,28	1,67	26971	26971
Correia	2,2	1,0	3 899,8	3 899,8

Fonte: O autor

Tendo-se a produção para cada tipo de equipamento apresentado no gráfico 5, e em função da tabela 13, obtêm-se os resultados dos custos de produção de cada equipamento apresentado no gráfico. Neste, pode-se observar que os camiões apresenta o maior custos de produção.

Gráfico 5: Custos total por metros cúbicos do primeiro semestre-2023



Fonte: O autor

5.3. Custos de Capital dos Equipamentos

Os custos de capital dos equipamentos comparados, foram estimados de acordo o mercado, e quanto o custo da correia transportadora é estimado por quilómetro instalado.

Tabela 14: Custos de Capital dos Equipamentos de Transporte

Equipamentos	Nº/Frota	Custos (mil \$) /Unitario	Total/Frota	TOTAL
Komatsu HD 785	25	1450	36.250	75.560
Caterpillar 777	5	1300	650	
Volvo A40	17	580	9.860	
Belaz 75139	18	1600	28.800	
Correia	2	67.600	135.200	135.200

Fonte: O autor

5.4. Consumo de Combustíveis e Energia Eléctrica

Devido aos altos custos de combustíveis e energia eléctrica, estes consumíveis são uns dos parâmetros mais significativos no que tange o custo de utilização dos equipamentos de transporte da massa mineira, e para tal, o consumo específico de combustíveis e energia eléctrica são determinados pelo SGMC (Sistema de Gestão de Manutenção de Catoca), conforme apresentado nas tabelas 15 e 16.

5.4.1. Consumo de Combustíveis

Conhecendo a potência do motor (kw), as condições de uso, e o fator de potência do camião, é possível calcular o consumo de combustível por hora do camião, mediante a equação (1).

$$C_c = 0,15 \times f \times HP$$

Onde:

C_c: consumo de combustível,(l/h)

f: factor de potência

HP: potência do motor (kw)

Tabela 15: Consumo de Combustível dos Camiões de Janeiro a Junho - 2023

Designação	Unidade	Plano	Real
Janeiro	Litros	445 060,80	431 378,85
Fevereiro		383 846,40	510 864,84
Março		483 161,23	488 039,71
Abril		610 020,34	595 564,79
Maio		585 887,93	777 784,76
Junho		596 624,29	577 755,51
Total		3 104 600,98	3 381 388,47

Fonte: Relatório Wenco

Gráfico 6

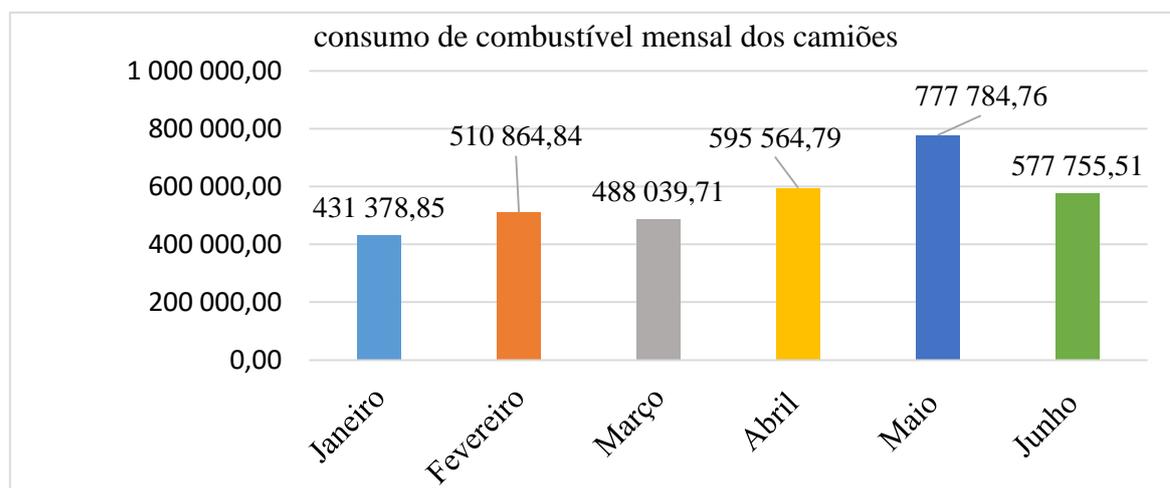


Gráfico 7

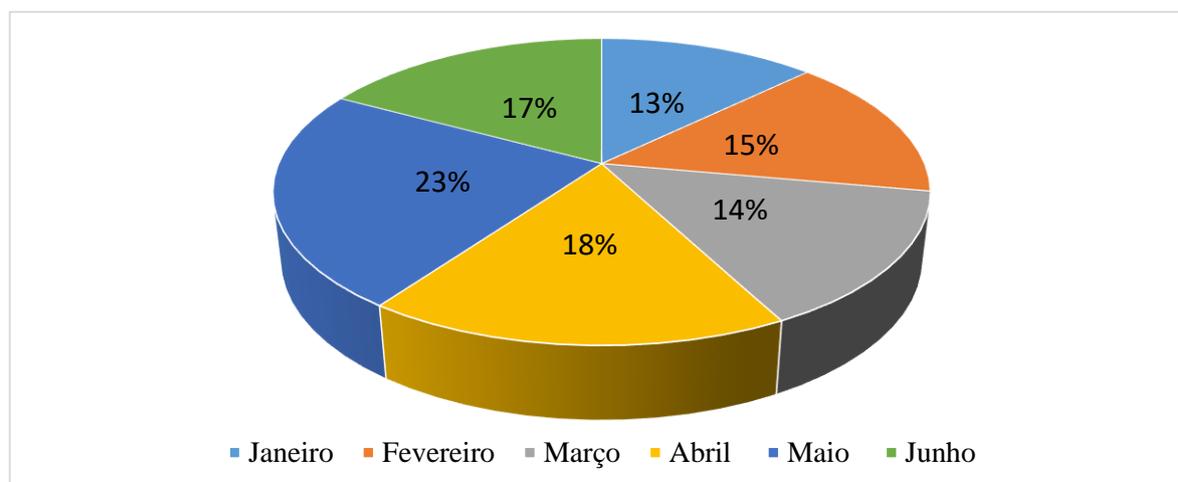


Gráfico 6 e 7: Consumo de Combustível mensal dos Camiões

Font: O autor

5.4.2. Consumo de Energia Eléctrica

Conhecendo a potência do motor (kw), o regime de trabalho e a utilização média da correia transportadora, calculamos o consumo de energia eléctrica mensal da correia transportadora, mediante a equação (4).

$$E_{el} = P \times \Delta t$$

Onde:

E_{el} : energia eléctrica consumida

P : potência do motor (kw)

Δt : tempo de uso

E para o cálculo do custo de energia eléctrica, multiplica-se a energia consumida (E_{el}) pelo custo da energia em dólar (\$) no país, como mostra a tabela(16) em anexo.

Tabela 16: Consumo de Energia Semestral da Correia Transportadora

Designação	Plano	Real
Consumo (kwh)	44.622,5	25.793
Custo de Energia (mil \$)	535,47	309,52

Fonte: O autor

5.5. Custo com Pneus

Tabela 17: Vida Útil Provável para Alguns Equipamentos

Equipamentos	Zona A	Zona B	Zona C
Carregadeiras	4.000/3.000h	3.000/2.000h	2.000/1.000h
Camiões fora-de-Estrada	4.000/3.000h	3.000/2.000h	2.000/1.000h

Fonte: O autor

Portanto, se estimando a provável vida útil do pneu e tendo seu custo de aquisição, pode-se calcular o custo horário, Equação (3).

$$\text{Custo horário do pneu} = \frac{\text{Custo do pneu}}{\text{Vida útil do pneu}}$$

Durante o primeiro semestre de 2023, a mina teve um custo com pneus de 3 353 mil \$.

5.6. Resultados dos Índices Técnicos e Econômicos

A tabela abaixo apresenta os principais índices técnicos e econômicos para uma análise comparativa entre os dois equipamentos de transporte da massa mineira da Mina em estudo. Nela podemos observar que transporte através de correia transportadoras possui um custo total superior comparado ao transporte por caminhões diesel. Isso se dá especialmente por conta dos custos de capital, que representam uma maior fatia do investimento.

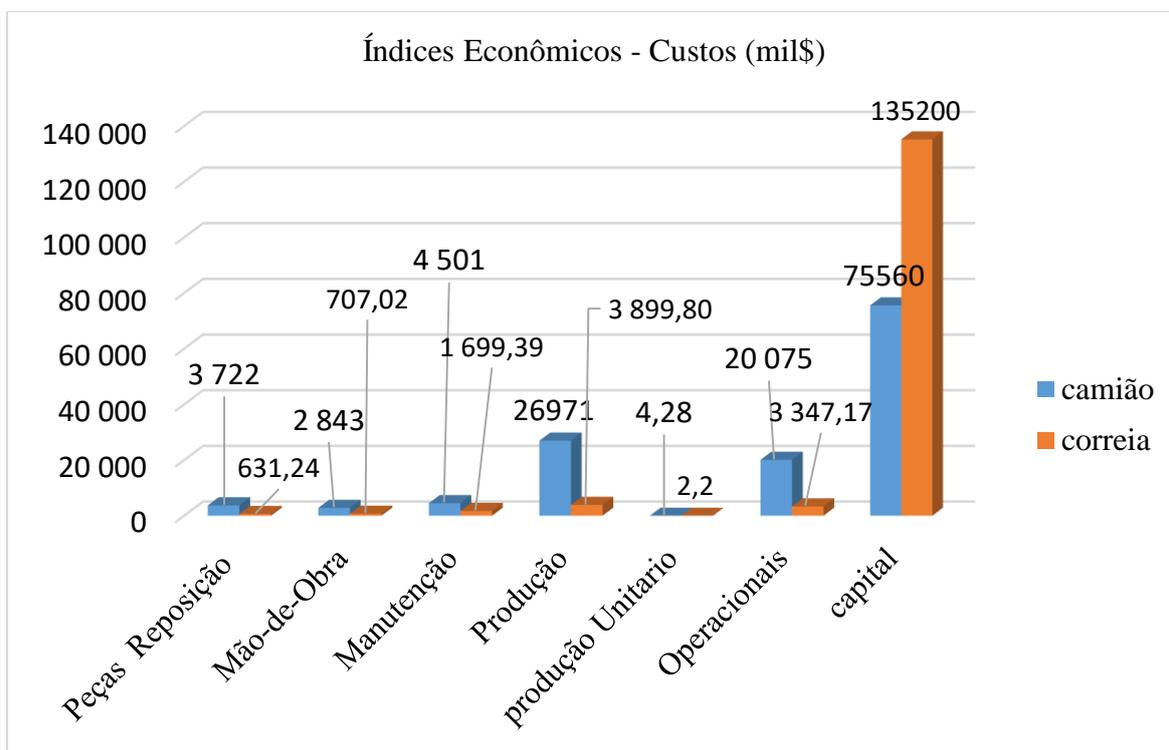
Porém, quando se avalia os custos operacionais, percebe-se que o transporte por caminhões tem o valor aproximadamente 5 vezes mais elevado comparado com o transporte através de correia transportadoras.

Tabela 18: Resumo de alguns Parâmetros Técnicos e Econômicos

Parâmetros	Unidades	Camião	Correia
Índices Técnicos			
Cosumo de Combustíveis	l/h	3 381 388,47	.....
Consume de Energia Elétrica	kw/h		25.793
Produtividade	mil m ³	6 300	1 769,6
Tempo de Ciclo	min	23/19	.....
Índices Econômicos			
Custos Peças Reposição	mil \$	3 722	631,24
Custos com Mão-de-Obra	mil \$	2 843	707,02
Custos com Manutenção	mil \$	4 501	1 699,39
Custos de Produção	\$/m ³	26971	3 899,8
Custos de produção Unitario	\$/m ³	4,28	2,2
Custos com Pneus	mil \$	3 353	.....
Custos de Combustível e Lubrificante	mil \$	5 604	.....
Custos com a Energia Elétrica	mil \$	.....	309,52
Custos Operacionais	mil \$	20.075	3 347,17
Custo de capital	mil \$	75.560	135.200

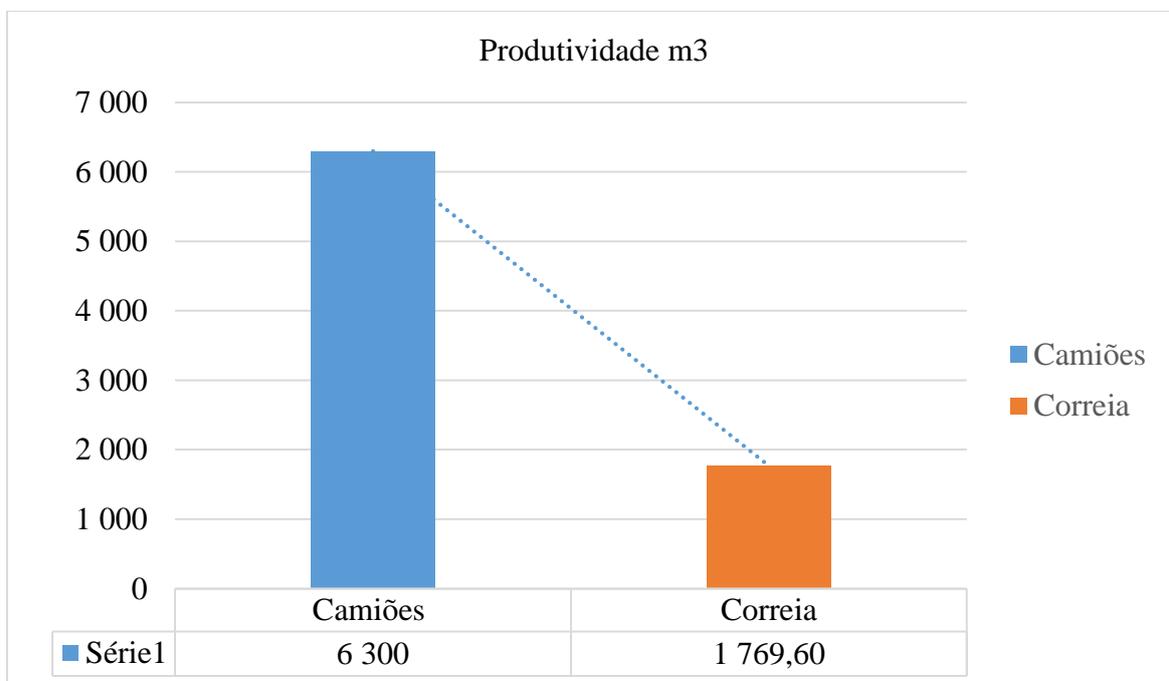
Fonte: O autor

Gráfico 8: Representação dos Índices Econômicos.



Fonte: O autor

Gráfico 9: Representação da Produtividade – Índice Técnico.



Fonte: O autor

CAPÍTULO VI – IMPACTO AMBIENTAL

6.1. Avaliação Ambiental

O compromisso com a preservação do meio ambiente é um fator fundamental na estratégia de sustentabilidade das empresas mineradoras. Nos dias de hoje, elas buscam um equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico dos territórios onde as empresas atuam, mantendo a qualidade dos recursos naturais, da biodiversidade e da vida.

O CO₂ é o gás que tem maior contribuição para o aquecimento global. O dióxido de carbono emitido pelos caminhões permanece na atmosfera por um longo período de tempo. Redução do número dos caminhões fora de estrada, ou troca dos caminhões pelas correias transportadoras, contribuirá na redução da emissão de CO₂.

Quanto a questão ambiental, a Mina de Catoca reduziu significativamente os impactos causados pela exploração, isso deve-se a extração em profundidade atualmente conduzida pela mina. E para mitigar os impactos causados no transporte da massa mineira, principalmente no sistema de transporte por caminhões, são utilizados equipamentos auxiliares, tais como os caminhões pipas, com a finalidade de borrifar as estradas, reduzindo assim a poluição do ar, e a exposição de poeiras causadoras de doenças, e baixa visibilidade nos trabalhadores durante o transporte da massa mineira.

Método Ideal – É o que possibilita os maiores lucros finais condicionados às imposições sociais (extração completa, segurança dos serviços, higiene, mínima perturbação ambiental).



Figura 21: Camião Pipa Borrifador de Estrada de marca komatsu 777

Fonte: google.

CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Qualquer modalidade de transporte possui vantagens e desvantagens, portanto é necessário avaliar a geologia da jazida, a geometria da cava e as capacidades produtivas para determinar qual o método é mais adequado.

Tendo-se determinado os principais parâmetros técnicos e económicos isto é custos operacionais, custos de capital e a produtividade da mina em estudo, chegou-se as seguintes conclusões sistemáticas e sucintas:

- ✓ A eficiência dos processos produtivos está diretamente relacionada ao transporte do material. O método usualmente visto na mina caso de estudo é o transporte de minério através de camiões. Ele apresenta alto custos operacionais e de manutenção, o que representa uma enorme desvantagem competitiva em relação as correias transportadoras. Embora, tendo como vantagens a alta produtividade, e o custo de capital.
- ✓ Os gráficos representados ilustraram os principais índices técnicos e económicos para uma análise comparativa entre camiões e correias transportadora da mina de Catoca. Nela observou-se uma comparação de custos, facto este que leva-nos a afirmar que as correias transportadoras em termos de custos operacionais, apresentam menor custo.
- ✓ O método de transporte através de correia transportadora, além de sua comprovada eficiência e eficácia, apresenta também uma alta produtividade, conforme evidenciado nos resultados. É um equipamento versátil e está disponível em vários modelos.

7.2. Recomendações

Depois dos resultados e conclusões obtidas com as análises feita dos equipamentos de transporte da massa mineira na mina de Catoca, recomenda-se:

- ✓ A comunidade científica, em particular os Engenheiros de minas devem realizar mais pesquisas sobre o tema em abordagem, tendo em conta a sua complexidade, e a importância no sector mineiro; pelo que recomendo para os trabalhos de mestrado e doutoramento.
- ✓ Com base na preservação ambiental recomenda se, as industrias mineiras que optem em métodos de transporte da massa mineira mais amigo do ambiente, reduzindo assim as agregões ambientais causada pelo sistema de transporte por camiões a diesel.
- ✓ Em função do alto custo do diesel, e da transição energética mundial, recomenda-se as empresas o uso de camiões assistido por trolley(diesel-elétrico), sendo uma opção viável para redução das emissões de carbono e os custos operacionais.
- ✓ Sugere-se uma redução dos camiões nas frotas, e optar mais na utilização das correias transportadora, sendo a melhor opção, para evitar grandes custos e maximizar os lucros.

CAPÍTULO VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BORGES, T. C. 2013. Análise de Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração. Ouro Preto.
- [2] CATERPILLAR. Guia de serviços Caterpillar: 793D caminhão fora de estrada. 2006. Catálogo: caminhão de mineração 793F. 2012. Disponível em:<<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10428053>>. Acesso em: 18 fev. 2019
- [3] CHAVES, F.A. 2015. Seleção de Sistemas de Transportes Industriais para um projeto de mineração em superfície: Mineroduto, Camiões Fora de Estrada e Transportadores de Correia. Santos.
- [4] COUTINHO, Heitor Lobo. Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto. 2017. 86 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- [5] CURI, Adilson. **Minas a céu aberto. Planejamento de lavra.** Oficina de Textos. 2014.223 p. **Lavra de Minas.** Oficina de Textos. 2017. 461p.
- [6] KOPPE, Jair Carlos; COSTA, João Felipe Coimbra Leite. Operações de lavra em pedreiras,2012.
- [7] LOPES, José Raimundo. Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido. 2010. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- [8] NBR 6177 Transportadores contínuos. [Online]. Disponível: <https://document.onl/documents/nbr-6177-transportadores-continuos.html>
- [9] PROCEL. **Correia Transportadora:** guia básico, CNI - Confederação Nacional da Indústria, 2009.
- [10] RACIA, I. M. **Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2016.
- [11] Relatório anual de Catoca 2017 & 2023
- [12] RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha. 3 ed. São Paulo: Pini, 2007.
- [13] SOUZA, J. C. **Apostila de métodos de lavra a céu aberto.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

ANEXOS

Tabela (1): Ciclo de Transporte do Material Estéril no Horizonte 840N Utilizando o Camião Komatsu HD785 (100t) Carregado por uma Escavadeira Caterpillar 6040

Equipamento de carga	Escavadeira Caterpillar 6040
Equipamento de transporte	Komatsu HD785
Horizonte	840N
Material a transportar	Gnaisse
Localização	Zona norte/escombreira oeste
Carregamento	1,14 min
Descarga	0,15 min
Transporte carregado	8,7 min
Volta (vazio)	7,25 min
Distancia	3,625km
Manobra de descarga	25 s
Manobra para o carregamento	50 s

Fonte: Relatório Catoca

Tabela (2): Velocidades Máximas Recomendadas em m/s (Materiais a granel)

Largura da correia (mm)	Cereais e outros materiais de escoamento fácil. Não abrasivos	Carvão, terra, minérios desagregados, pedra britada fina pouco abrasiva	Minérios e pedras duros, pontiagudos pesados e muito abrasivos
400	2,5	1,6	1,6
500 – 800	3,0 – 3,6	2,5 – 3,0	1,8 – 3,0
800 – 1000	3,6 – 4,1	3,0 – 3,6	3,0 – 3,3
1200 – 1600	4,1 – 5,0	3,6 – 4,1	3,3 – 3,8

Fonte: (Procel. 2009)

Tabela (3): Custo de Eléctricidade em Angola

Angola preços da electricidade	Casa, kWh	O negócio, kWh
Angolan Kwanza	11.830	9.640
U.S. Dollar	0.014	0.012

Fonte: Google - 2019

Tabela (4): Principais Indicadores do Transporte por Correias Transportadoras Fase 01 1º Semestre. 2023

Transportação por correias		1º Semestre 2023		
		Plano	Real	R/P
Indicadores da Correia Fase 01	mil. m3	1 716,6	828,1	48%
	mil. t,	3 783,4	1 769,6	47%
	mil. t-km	16 792,2	11 532,8	69%
	mil. m3-km	3 604,8	1 739,0	48%
	Custo Total mil \$	3 784,2	3 899,8	103%
	\$/m3	2,2	4,7	214%
	\$/ton	1,0	2,2	220%
	\$/ton-km	0,23	0,34	150%
	\$/m3-km	1,0	2,2	214%

Fonte: Relatório Wenco

Figura 1, 2,3: Os três Grandes Grupos de Correias Transportadoras(fixo, móvel, portátil)



Fonte: Tci Manufacturing, 2017