



**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**

**PROPOSTA DE ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO  
DO DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE  
CARREGAMENTO E DE TRANSPORTE NOS CUSTOS  
OPERACIONAIS DE UMA MINA A CÉU ABERTO.**

**CASO DE ESTUDO: MINA DE CATOCA**

Autor: Jonas Kiangebeni  
Estudante nº129594

Luanda, Janeiro de 2024

**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**

**PROPOSTA DE ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO  
DO DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE  
CARREGAMENTO E DE TRANSPORTE NOS CUSTOS  
OPERACIONAIS DE UMA MINA A CÉU ABERTO.**

**CASO DE ESTUDO: MINA DE CATOCA**

Apresentado por : **Jonas Kiangebeni**

Orientado por: **Prof. Dr. Augusto Cazola**

Co-orientador: **Engº Lopes A. Nsungani**

Luanda, Janeiro de 2024

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a toda comunidade estudantil, ao departamento de Minas da faculdade de engenharia da universidade agostinho Neto, A todos estudante e amantes de leitura.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo don da vida, saúde, inteligência e graças a ele esta licenciatura se tornou uma realidade;

Agradeço a minha mãe Isabel Victorina Diasuekama pelo sacrifício e dedicação na minha formação, aos meus irmãos que sempre me apoiaram em todas minhas escolhas e trajetórias;

Aos meus tios, em particular o senhor Francisco Vitorino Ngonga (Ti Gelo) pela força coragem apoio e insentivo;

Ao Professor Dr. Augusto Cazola pela atenção, paciência e orientação;

Aos meus grande irmãos e companheiros de batalha Mardoche João Iamba e Barros André Gombo pelo apoio, companheirismo e encorajamento ao longo de toda a minha caminhada;

Ao Engenheiro Pedro da Gama pelo apoio e euxilio ao longo da execussão deste trabalho;

Ao engenheiro Lopes Nsungani pelo auxílio e co-orientação em todas as fases deste trabalho;

A todos os professores e estudantes do departamento de minas, em especial aos colegas da turma 5º ano 2021/ 2022

A Faculdade de Engenharia pela oportunidade;

A todo membro do Cubico das Ideias; e a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão da minha licenciatura.

## Epígrafe

*Os rios não bebem de sua própria água , as árvores não comem de seus próprios frutos, o sol nao brilha para si mesmo, e as flores não espalham a sua fragrância para si.*

*Viver para os outros é uma regra da natureza, a vida é boa quando você está feliz mas é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa.*

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

*"Albert Einstein"*

## RESUMO

As operações de carregamento e transporte são importantes nas etapas do processo de lavra de minas. Fatores como volume de produção e condições operacionais interferem diretamente na seleção de equipamentos e dimensionamento de frotas, sempre com vista aos menores custos de operação. O presente trabalho comparou a eficiência do dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte com os resultados obtidos após sua implementação através de um estudo de caso, o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte para uma mineração a céu aberto utilizando indicadores de produção, com a análise do comportamento dos custos total e unitário com a variação do tamanho da frota e volume de produção. O método de análise do tamanho de frota ótimo proposto por esse estudo é aplicável a quaisquer frotas de carregamento e transporte, independente do seu porte e volume de produção, bastando alterar os valores das variáveis imputados nos cálculos para o dimensionamento da frota e estimação dos custos, diferentes para cada mina. A partir do que foi exposto no presente trabalho, pôde-se concluir que o número mais interessante de equipamentos na frota é o equilíbrio entre produtividade e custos, ou seja, a frota ótima não é necessariamente a que resulta em maior produção, mas sim a que tenha a melhor relação custo-produção.

Palavras-chave: dimensionamento de frota, carregamento e transporte, mineração a céu aberto, produtividade, custos.

## **ABSTRACT**

Loading and transportation operations play a crucial role in the stages of the mining extraction process. Factors such as production volume and operational conditions directly impact the selection of equipment and fleet sizing, always aiming for lower operational costs. This study compared the efficiency of equipment sizing for loading and transportation with the results obtained after their implementation through a case study, focusing on the sizing of a loading and transportation fleet for an open-pit mining operation using production indicators. The analysis included studying the behavior of total and unit costs with variations in fleet size and production volume. The optimal fleet size analysis method proposed in this study is applicable to loading and transportation fleets of any size and production volume, requiring only the adjustment of variable values in the fleet sizing and cost estimation calculations, which vary for each mine. From the findings in this study, it can be concluded that the most favorable number of equipment in the fleet is the balance between productivity and costs. In other words, the optimal fleet is not necessarily the one resulting in the highest production but rather the one with the best cost-production relationship.

Keywords: fleet sizing, loading and transportation, open-pit mining, productivity, costs.

## ÍNDICE

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>EPÍGRAFE.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Organização do trabalho.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Problemática.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1 Problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.2 Causas.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.3 Consequências.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.4 Solução.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Delimitação do trabalho.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6 Objectivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6.1 Gerais.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6.2 Objectivos específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.7 Hipótese.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Definições e conceitos.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Operação de carregamento e transporte na lavra a céu aberto.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 Equipamentos de carregamento em lavra a céu aberto .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2 Sistemas de Transporte na lavra a céu aberto.....</b>	<b>8</b>

2.2.2.1 Lavra com transporte por camiões.....	8
2.2.2.2 Lavra com transporte por correias transportadoras.....	11
2.3 Planeamento de lavra.....	12
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
4.1 Estudo de caso.....	15
4.1.1 Localização da mina .....	15
4.1.2 Água e rios.....	16
4.1.3 Fauna e flora.....	16
4.2 Vias de acesso.....	17
4.2.1 Vias aéreas.....	18
4.2.2 Via terrestre.....	18
4.3 População.....	19
4.4 Geografia .....	19
4.4.1 Clima.....	20
4.5 Geologia da região .....	21
4.5.1 Caracterização das rochas da região .....	22
4.6 Mina de catoca .....	23
4.6.1 Metodologia de lavra utilizada na mina de catoca .....	24
4.6.2 Metodologia de transporte .....	26
4.6.3 Ambiente higiene e segurança .....	27
4.6.3.1 Ventilação e controlo de poeiras.....	28
4.6.3.2 Gestão de emergência.....	28
4.6.3.3 Envolvimento dos trabalhadores.....	28
4.7 Desempenho dos equipamentos de carregamento e transporte nos custos operacionais.....	29
4.7.1 A seleção de equipamentos de carregamento e transporte .....	29

4.7.2 Produtividade das frotas de carregamento e transporte.....	30
4.7.2.1 Conceitos fundamentais para estimativa de produtividade dos equipamentos.....	31
4.7.3 Comparação da produção planejado e realizado dos equipamentos de carregamento e transporte.....	38
4.7.3.1 Carregadeiras e Escavadoras.....	39
4.7.3.2 Produção prevista dos equipamentos de transporte.....	42
4.7.3.3 Avaliação econômica dos caminhões e correias transportadoras .....	48
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>49</b>
5.1 Conclusões.....	49
5.2 Recomendações.....	49
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

e = Empolamento

$\lambda$  = Fator de empolamento;

$\gamma_c$  = Peso específico do material no corte;

$\gamma_s$  = Peso específico do material empolado ou solto

$V_c$  = Volume originalmente no “corte” ou volume “in situ”;

$V_s$  = Volume do material rochoso após a fragmentação.

DM = Disponibilidade mecânica;

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

MP = Manutenção preventiva, compreendendo todo o serviço programado, conservação e inspeção dos equipamentos, executados com a finalidade de manter o equipamento em condições satisfatórias de operação;

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

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

DF = Disponibilidade física que representa a percentagem do tempo que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a produção;

HP = Corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HM = Corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

HT = Total de horas efetivamente trabalhadas;

HP = Corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HM = Corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares  
Tciclo = tempo de ciclo

Tcarga = Tempo de carga

$T_{manobra}$  = Tempo de manobra

$T_{percurso}$  = Tempo de percurso

$T_{despejo}$  = Tempo de despejo

$P$  = Produção

$C_{ciclo}$  = Carga/ciclo

$Ch$  = Ciclos/hora

Eficiência de operação ( $E$ )

$t_{c_{min}}$  = Tempo de ciclo mínimo;

$t_{c_{ef}}$  = Tempo de ciclo efetivo;

$t_p$  = Tempo perdido.

$P_n$  = Probabilidade de ter exatamente  $n$  unidades disponíveis;

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

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

$C_r^n$  = Combinação de itens tomados, sendo  $r$  em um certo tempo.

$R_r$  = Resistência ao rolamento;

$PBV$  = Peso bruto do veículo (kgf);

$K$  = Coeficiente de rolamento (kgf/t);

$a$  = Afundamento (cm).

$P_1$  = Produção da CAT-6040

$P_2$  = Produção da COM-PC300

$P_3$  = Produção da CAT-6015

$P_4$  = Produção da HM

$P_5$  = Produção da CAT992

## LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E FIGURAS

Figura 1: Carregamento e transporte de minério por camiões na mina de catoca.....	6
Tabela 1: Classificação dos tipos de equipamentos de carregamento e transporte.....	7
Figura 2: Escavadeira frontal CAT 6060 e um camião da CAT .....	7
Figura 3: Camiões de transporte de minério na mina de catoca.....	9
Figura 4: A figura representa o circuito e transporte de massa mineira por camiões.....	10
Figura 5: Gráfico da capacidade de transporte dos camiões.....	10
Figura 6: Transporte de minério por correias transportadoras.....	11
Figura 7 e 8: Localização da mina de catoca.....	15
Figura 9: (A,B) Recursos hídricos do rio Chicapa.....	16
Figura 10 e 11: Área de savana arborizada.....	17
Figura 12 e 13: Filhote de leão ,Gazelas .....	17
Figura 14: Aeroporto internacional de Saurimo.....	18
Figura 17: Localização geográfica do empreendimento mineiro de Catoca...19	
Figura 18: Zona leste de Angola.....	20
Figura 19: Corte geológico da chaminé.....	21
Figura 22: Processo de carregamento e transporte na mina de catoca.....	22
Figura 23: Empresas que constituem a sociedade mineira de catoca.....	24
Figura 24 e 25: Desmonte de rochas com explosivos na mina de catoca.....	25
Figura 26 e 27: Sistema de transporte e carregamento de estéril .....	25
Figura 28: Escavadeira fazendo a remoção do material desmontado para ser transportado num camião de 40t para as centrais de tratamento.....	26
Figura 29: Equipamentos de proteção individual.....	27
Figura 30: Demonstração do sistema de irrigação para o combate a poeira....	28
Tabela 2: Distâncias média de transporte na mina de catoca.....	38
Tabela 3: Algumas descrições das velocidades dos equipamentos de transporte (camiões).....	38
Tabela 4: Descrições das escavadoras frontal e retro.....	39

Figura 31: Escavadora frontal e uma retro, carregando um caminhão fora de estrada.....	40
Figura 32: Ciclos da pá carregadeira.....	41
Tabela 4: Descrição da planificação dos equipamentos de carga da mina de catoca no Iº semestre de 2023.....	41
Tabela 5: Demonstração da produção dos equipamentos de carga- Real.....	42
Tabela 6: Resultados previstos nos transportes por caminhões no primeiro semestre de 2023.....	43
Gráfico 1: Plano programado dos equipamentos de transporte por caminhões no Iº semestre de 2023.....	44
Tabela 7: Quantidade dos caminhões e resultado de produção da massa mineira por caminhões no primeiro semestre do ano de 2023.....	45
Gráfico 2: Resultado real da massa mineira transportado por caminhões no Iº semestre do ano de 2023(mil m3).....	45
Tabela 8: Indicadores do plano do processo de transporte por correias transportadoras no (Iº semestre de 2023).....	46
Tabela 9: Custos com correias transportadoras de janeiro à Junho de 2023..	46
Gráfico 3: Demonstração dos custos com correias transportadoras.....	47
Tabela 10: Análise da produção dos equipamentos de transporte, plano e realizado.....	47
Gráfico 5: Representação da massa mineira transportada no primeiro semestre de 2023 .....	48
Tabela 11: Comparação dos custos com os equipamentos de transporte.....	48

## **Anexos**

Tabela 1: Tempos de ciclo da carregadeira frontal.....	52
Tabela 2: Eficiência do trabalho dos equipamentos.....	52
Figura 1: Processo de carregamento e transporte por caminhões.....	52
Figura 2: Unidades escavo carregadora retro e um camião fora de estrada....	53
Figura 3 e 4:Medelo de pá carregadeira sobre pneus e sobre esteiras.....	53

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 Introdução**

A constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos, aliada ao grande momento que vive o mercado mundial de bens minerais, propicia e estimula o desenvolvimento e aperfeiçoamento de ferramentas e métodos que auxiliem a tomada de decisão na rotina de trabalho de planejamento e operações de mineração.

A extração mineral a céu aberto é caracterizada por ser uma atividade de alto custo de investimento, na qual o processo de tomada de decisão possui uma elevada complexidade devido às características estocásticas do sistema .

Um dimensionamento otimizado da frota de equipamentos de lavra reveste-se de grande importância, uma vez que os custos envolvidos, de capital ou de operação, representam, quase sempre, uma parcela considerável dos custos de uma mina. Neste contexto, diversos estudos de métodos, técnicas e ferramentas para dimensionamento e seleção de equipamentos foram realizados tanto no meio acadêmico como na indústria.

Neste trabalho vamos abordar sobre a correta seleção de equipamentos para mineração enfatizando a grande importância em se fazer um correto dimensionamento das frotas de carregamento e transporte.

## **1.2 Justificativa**

As operações de carregamento e transporte são as mais críticas e complexas dentro dos processos de lavra, já que representam aproximadamente 60% dos custos operacionais entre todos os processos relacionados.

O processo de carregamento e transporte tem grande efeito no desempenho econômico de uma mina uma vez que envolve um alto custo de capital investido e custo operacional. Este custo elevado se deve ao grande investimento que se requer para aquisição de equipamentos de carga e transporte, assim como outros recursos, tais como pessoal, combustível e custo de manutenção dos equipamentos. Os recursos financeiros e humanos poderiam ser mais bem alocados se houvesse um correto dimensionamento da frota de equipamentos visando maximizar a sua produção relacionada ao melhor custo benefício, minimizando os custos totais e unitários de carregamento e transporte.

Para isso resolvemos fazer uma análise comparativa da eficiência do dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte na mina de catoca e apresentar os resultados dos custos adicionais no processo.

## **1.3 Organização do trabalho**

No primeiro capítulo é feita uma breve introdução sobre o trabalho, e é abordado sobre assuntos correspondentes a generalidades deste trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica do trabalho, com considerações sobre seleção de equipamentos de carregamento e transporte e dimensionamento de frota em termos da literatura disponível sobre o assunto, definição de custos e suas variações, bem como a relação entre o sistema de carregamento e transporte e os custos envolvidos. É discutido também o processo de projeto de uma mina e sua relação direta com o planejamento dos sistemas de carregamento e transporte adequados a cada caso.

No terceiro capítulo que é a metodologia, é descrito de forma detalhada o método utilizado para a colheita de dados e informações que foram úteis para a realização deste trabalho.

No quarto capítulo é apresentada as discussões a análise dos resultados e comportamento dos custos de produção com a variação da capacidade produtiva da frota de carregamento e transporte dimensionada no princípio do projeto.

Concluindo o trabalho tem-se a conclusão e as recomendações, onde todas as análises conclusivas e as devidas recomendações para os futuros trabalhos e para toda a comunidade estudantil em geral.

No final são listadas as referências bibliográficas utilizadas para a fundamentação teórica deste trabalho.

## **1.4 Problemática:**

### **1.4.1 Problema**

Desconhecimento da eficiência dos equipamentos de carregamento e transporte no processo de produção na mina de catoca.

### **1.4.2 Causas**

Grande variedade e complexidades nos equipamentos de carregamento e transporte;

Informações insuficientes sobre o desempenho dos equipamentos.

### **1.4.3 Consequências**

Aumento nos custos de produção e no tempo de ciclo da frota;

Baixa produtividade da mina.

### **1.4.4 Solução**

Execução de uma análise comparativa do desempenho do dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte na fase do planejamento e depois da implementação.

## **1.5 Delimitação do trabalho**

Este trabalho delimitou-se em comparar a produtividade e os custos com equipamentos de carregamento e de transporte na planificação e na execução.

## **1.6 Objectivos:**

### **1.6.1 Gerais**

O presente trabalho tem por objetivo estudar o processo geral de carregamento e transporte na mina de catoca e a sua influência nos custos operacionais.

### **1.6.2 Objectivos específicos**

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

1. Analisar os conceitos fundamentais para estimação de produtividade de frotas de carregamento e transporte;
2. Apresentar os resultados do dimensionamento da frota feita anteriormente e compara-los com os resultados atuais da produção;
3. Comparar os custos de produção em relação a planificação.

## **1.7 Hipótese**

- Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e fiscalização do processo de produção com o objetivo de fazer cumprir a planificação.
- Reduzir o tempo de intervalo das manutenções para identificar e prever as possíveis avarias que podem surgir nos equipamentos.

## **CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 Definições e conceitos**

Lavra, método de lavra, jazida, dimensionamento de frota, carregamento e transporte, mineração a céu aberto, produtividade, custos.

**Lavra:** é o conjunto de operações de aproveitamento industrial e económico de uma jazida.

**Método de Lavra:** entende-se como a conjugação de todos os serviços de aproveitamento económico de uma jazida.

**Jazida:** designação genérica que engloba a acumulação natural de recursos minerais, cuja utilidade e valor económico ainda está por determinar.

**Dimensionamento de frotas:** é um processo complexo que envolve o cálculo de diferentes variáveis, como a capacidade do equipamento, a produtividade da equipe e o tempo de ciclo de cada equipamento, os custos operacionais e a estimativa de produção.

**Carregamento e transporte:** é o processo que envolve as atividades que visam retirar os minerais ou minérios do local de extração e transportá-los para áreas de processamento

**Mineração a céu aberto:** é uma operação de extração de minerais e outros recursos naturais que se realiza a superfície, em áreas abertas, sem a necessidade de construir túneis subterrâneos para chegar aos veios depositados no solo.

**Produtividade:** é a capacidade de produzir mais em menos tempo, utilizando eficientemente os recursos disponíveis. Ela também é um indicador importante para medir a eficiência e a competitividade de uma empresa.

**Custo operacional:** é o conjunto de despesas necessárias para manter a operação de uma empresa em funcionamento. Ele representa todas as despesas que uma empresa tem para produzir e vender seus produtos.

## 2.2 Operação de carregamento e 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.

Em minas a céu aberto as atividades se iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada, quando necessário. Então a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos de carga (pás carregadora ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes de lavra.

Estes retiram o material e o carregam nos equipamentos de transporte, caminhões, correias transportadoras, vagões, entre outros. O equipamento de transporte, transporta o material até um determinado ponto de descarga, esses pontos de descargas podem ser britadores, pilha estéril ou pilha pulmão, e o ciclo da operação recomeça, sendo realizada de forma contínua.



Figura 1: Carregamento e transporte de minério por caminhões na mina de catoca. Fonte: google, [www.catoca.com](http://www.catoca.com).

Tabela 1: Classificação dos tipos de equipamentos de carregamento e transporte.

	<b>Carregamento Sem transporte</b>	<b>Transporte mínimo</b>	<b>Transporte Sem caminho definido</b>	<b>Combinado Móvel</b>
<b>Unidade discreta</b>	Escavadora frontal Retroescavadeira Escavadora frontal hidráulica	Carregadeira	Camião	Motoscraper Trator de esteiras Carregadeiras (LHD)
<b>Contínuo</b>	Escavadeira de roda  Escavadeira de correia  Draga Minerador contínuo		Correia transportadora	

Fonte: (Hartman, 1992)

### 2.2.1 Equipamentos de carregamento em lavra a céu aberto

As operações de escavação e carregamento podem ser feitas pelo mesmo equipamento ou por equipamentos distintos, sendo o primeiro caso chamado de unidades escavocarregadoras, mais comuns para corpos de minério friáveis.

Os equipamentos mais utilizados para as operações de escavação e carregamento, concomitante ou não, são escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, motoscrapers, dragas e monitores hidráulicos.



Figura 2: Escavadeira frontal CAT 6060 e um camião da CAT; Fonte: google imagens

Na mineração de outros países são mais comuns equipamentos de maior porte, existindo assim, um número superior de escavadeiras a cabo de grande porte. Já nas empresas angolanas é mais frequente o uso de escavadeiras tipo “shovel”, ou balde frontal, nas operações de escavação direta na frente de lavra, e concomitante carregamento da unidade de transporte, para corpos friáveis.

Estas escavadeiras “shovel”, segundo RICARDO & CATALANI (2007), são adequadas para o uso em taludes por ter um elevado alcance máximo para o corte.

## **2.2.2 Sistemas de Transporte na lavra a céu aberto**

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

### **2.2.2.1 Lavra com transporte por camiões**

O método de lavra por camiões é o mais utilizado em todo o mundo. Com o surgimento da mecanização alavancou-se a capacidade de lavra das minas, as rampas começaram a ser vencidas e o aprofundamento das cavas tornou-se realidade.

Os equipamentos foram sendo modernizados e os conceitos de desmonte, carregamento e transporte se consolidaram. Com o avanço da tecnologia surgiram variações, tais como as escavadeiras elétricas a cabo, diesel-elétricas e hidráulicas.

Os camiões acompanharam o porte das escavadeiras, mas por falta de tecnologia, foram barrados pelo tamanho dos pneus, caso que ocorreu no mesmo período com as carregadeiras.

Nas últimas décadas a tecnologia de fabricação de pneus avançou e o tamanho dos camiões e carregadeiras foi ampliado atingindo as capacidades atuais de produção, o que provocou a possibilidade de ajuste de tamanho das escavadeiras para as novas dimensões dos equipamentos de transporte.



Figura 3: Camiões de transporte de minério na mina de catoca. Fonte: google, [www.catoca.com](http://www.catoca.com)

A lavra com transporte por camiões consiste basicamente de desmonte do material “in situ”, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivo ou mecanicamente (tratores, escavadeiras ou carregadeiras, dependendo da resistência do material).

Atualmente o mercado oferece camiões com capacidades variando de 10 toneladas a 400 toneladas, ilustrado na Figura 3, 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.

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 diretamente ligada ao tempo de ciclo por viagem dos camiões que por consequência reflete a produtividade da frota.

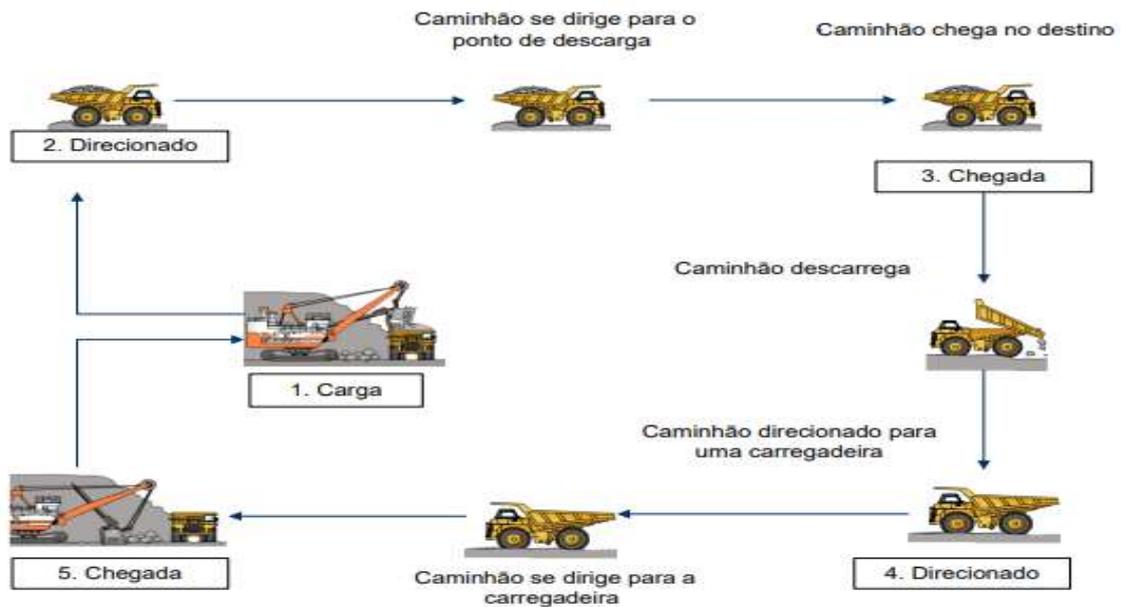


Figura 4: A figura representa o circuito e transporte de massa mineira por caminhões. Fonte: Descrição do processo de lavra em minas a céu aberto, Johanna Mirelle Gómez Quvedo

A Figura abaixo relaciona a capacidade produtiva em toneladas normais por hora de operação pela distância de transporte percorrida para vários modelos com capacidades de cargas variáveis.

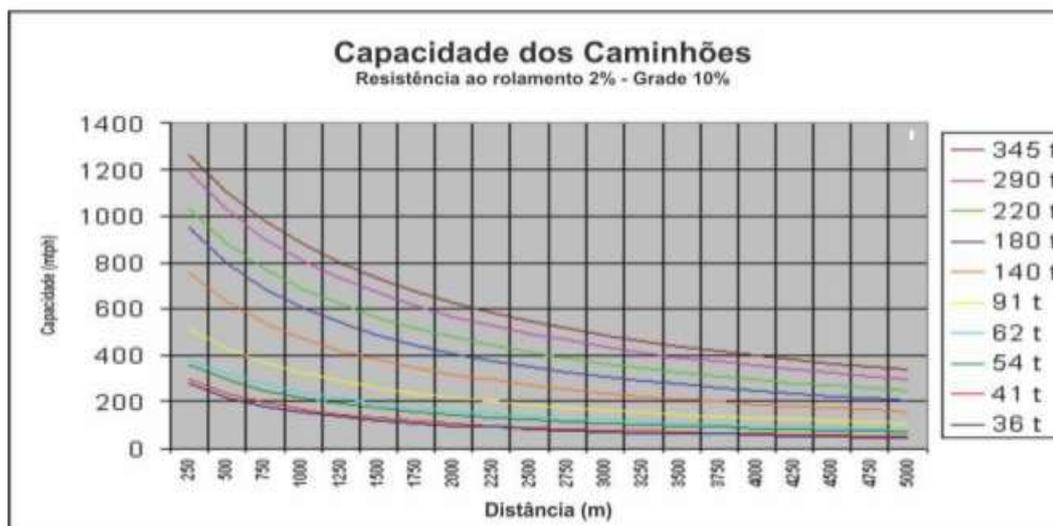


Figura 5: Gráfico da capacidade de transporte dos caminhões. Fonte: Adaptado de ZIMMERMAN e KRUSE, 2006.

De acordo com a análise da figura a cima, observa-se que para se manter uma produção constante requerida ao longo do tempo de vida das minas, pode-se tomar mão de duas ações: aumentar o número de caminhões da frota ou alterar o modelo por

capacidades maiores mantendo o mesmo número de caminhões anteriores. O tamanho do equipamento de carga poderá ou não acompanhar o aumento da capacidade dos caminhões.

### **2.2.2.2 Lavra com transporte por correias transportadoras**

A utilização de sistemas de correias transportadoras para transportar o minério proveniente das minas para as estações de britagem é cada vez mais acentuada, tanto por sistemas de transporte de curta e/ou longa distância, ou mesmo para a execução da própria lavra de minério em substituição total ou parcial da frota de caminhões.

As correias transportadoras são compostas de um sistema motorizado que movimenta 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 número de correias transportadoras necessárias para a operação está diretamente ligado à distância e à altura a ser vencida.



Figura 6: Transporte de minério por correias transportadoras. Fonte: google, correias transportadoras.

Os tipos de correias desenvolvidas para as diversas operações em mineração são variados e suas aplicações estão inteiramente ligadas às características dos processos de cada mina.

A princípio, as correias transportadoras são utilizadas para vencer as grandes distâncias desde o ponto de carga até o ponto de descarga, proporcionando uma redução no custo operacional. Ademais a utilização das correias acarreta na mudança de metodologia de disposição do material na pilha, diminuindo o seu custo. Para isso podem ser utilizados dois métodos diferentes.

A disposição de estéril por caminhões tem sido utilizada ao longo dos anos para formação de pilhas. No entanto, este método fica limitado para as pilhas que estão localizadas até 4 km dos pontos de carga. Para distâncias maiores, os custos operacionais e o custo de capital ficam altos, o que viabiliza a substituição dos caminhões por correias transportadoras.

### **2.3 Planeamento de lavra**

Para operacionalizar o processo de extração dentro da mina, deve-se sempre pensar nas diversas fases pelas quais a mina irá passar ao longo da sua vida. O objetivo é determinar para cada uma destas fases a massa de bem mineral lavrável e a massa de rejeito e estéril associados que devem ser movimentados assim como os recursos necessários para levar a cabo as operações de extração. Cada uma destas fases recebe o nome de Plano de Lavra.

Um plano de lavra é uma programação das atividades da mina, indicando os avanços a serem feitos ao longo do tempo, nas respectivas frentes de lavra, além de conter informações sobre a produção a ser implementada em cada uma dessas frentes. Os planos de lavra auxiliam as atividades de planeamento e controlo da produção, pois permitem não somente prever as quantidades de minério e estéril lavradas, como também determinar a qualidade do ROM e controlar as condições de segurança e de manutenção da vida útil da mina por meio de uma relação estéril-minério adequada.

A importância do planeamento de lavra está relacionada a diversas etapas ao longo de todo o horizonte de operações de uma mina, compreendendo desde os primeiros estudos de viabilidade económica até o encerramento das operações. De acordo com o horizonte de tempo e os objetivos aos quais estão relacionados, os planos de lavra podem ser classificados como de longo, médio e curto prazo.

No longo prazo, as atividades de planeamento estão relacionadas à obtenção da cava final otimizada, à estimação da reserva lavrável e à determinação de ângulos

seguros para a inclinação dos taludes, de forma a garantir a viabilidade das operações da mina. Por ser uma etapa onde ocorre o dimensionamento e seleção de equipamentos por parte dos engenheiros e gestores de forma a atingir metas de produtividade reduzindo custos de produção, o planeamento de longo prazo será discutido no próximo tópico, considerando a influência das metas de produtividade da empresa na seleção de equipamentos minimizando os custos, bem como outras questões estratégicas envolvidas.

A próxima etapa do planeamento, conhecida como sequenciamento de lavra, consiste em determinar a sequência otimizada de evolução da cava, e está relacionada a horizontes de médio e longo prazos. Nesses estudos, o retorno financeiro está relacionado à qualidade do minério e, geralmente, a evolução da cava é representada por uma sucessão de pequenas cavas que são diferenciadas pelo teor de corte.

O planeamento de curto prazo se refere aos aspetos operacionais da lavra da mina, como a determinação do ritmo de lavra nas diversas frentes em atividade e a alocação de equipamentos de carga e transporte.

Como o horizonte projetado é pequeno, a ocorrência de problemas na execução do plano pode afetar diretamente as operações das plantas de beneficiamento e o cumprimento de prazos de entrega previstos em contratos. Por este motivo, a atenção está voltada principalmente para o atendimento de requisitos de produção, de qualidade e de redução dos custos de operação da mina .

### **CAPÍTULO III: METODOLOGIA**

Nesta secção vamos descrever o método utilizado para a colheita de dados, como a entrevista com técnicos de mineração, análise de documentos interno da empresa, pesquisas de mercado, entre outros.

Sendo que o método de investigação para a realização desse trabalho foi DSR, mas para alcançar os objectivos estabelecidos a metodologia adotada iniciou fundamentalmente na revisão de literaturas que aborda assunto relacionados com o tema. O trabalho foi realizado em quatro fases distintas a referir:

- 1- Estudo bibliográfico: Revisão de trabalhos relacionados com o tema de investigação;
- 2- Recolha de dados;

- 3- Análise comparativa da eficiência do desempenho do dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte ;
- 4- Apresentação dos resultados obtidos ao longo da investigação.

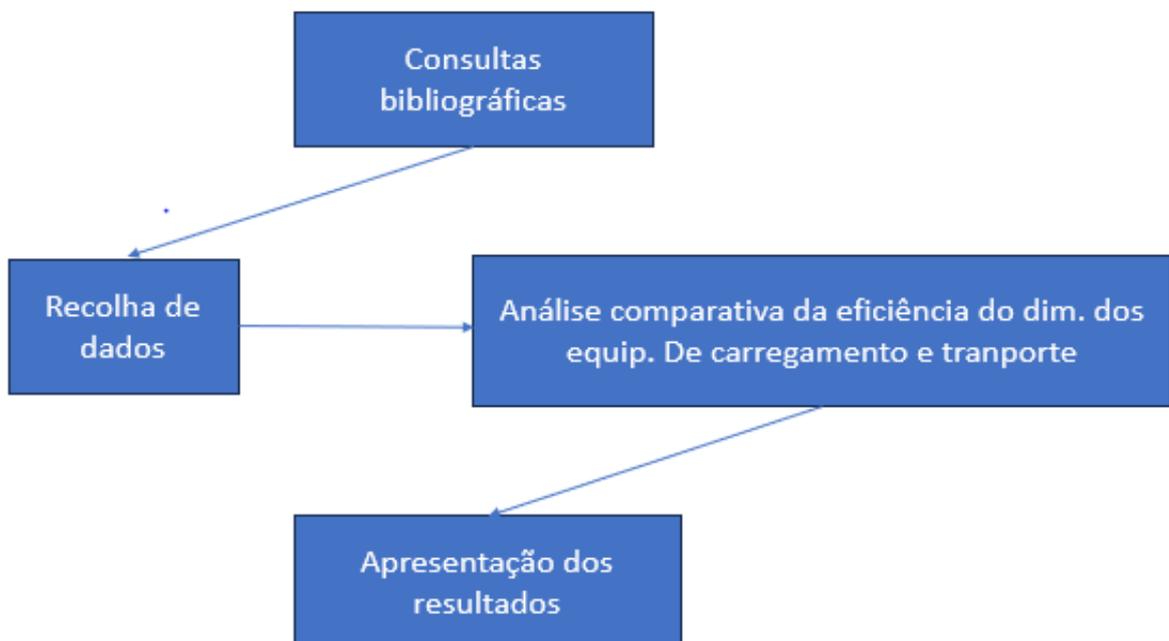
A primeira fase da consulta bibliográfica, baseou-se na consulta dos dos trabalhos anteriores com temas correlacionados e na revisão dos principais conceitos relacionados aos equipamentos de carregamento e transporte nas minas a céu aberto, tipos de equipamentos, manutenções e também sobre os custos operacionais.

Nessa fase foram levantadas as principais teorias e pesquisas acerca do tema escolhido pra se chegar a uma conclusão das maneira mais eficases de atingir os objetivos previamente estabelecido

Segunda fase, para a colheita de dados baseou-se nos relatório vindo do departamento de mineração no sector de planeamento mineiro e análise da sociedade mineira de catoca.

Na terceira fase, fez-se a comparação do dimensionamento feito na planificação com os resultados obtidos ao longo da execução das actividade mineiras de acordo com os dados fornecidos pedo departamento de mineração da sociedade mineira de catoca.

Na quarta fase são apresentados os resultados da pesquisa e uma análise detalhada dos custos relacionados aos equipamentos de carregamentos e transporte de uma mina, onde vai apresentar-se gráficos e tabelas que evidenciem os dados coletados.



## CAPÍTULO IV: DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Estudo de caso

#### 4.1.1 Localização da mina

A mina de diamantes Catoca está localizada em Angola, na província de Lunda Sul, próxima à cidade de Saurimo. Seu quimberlito é o quarto maior do mundo, com uma chaminé de 600 metros de profundidade.

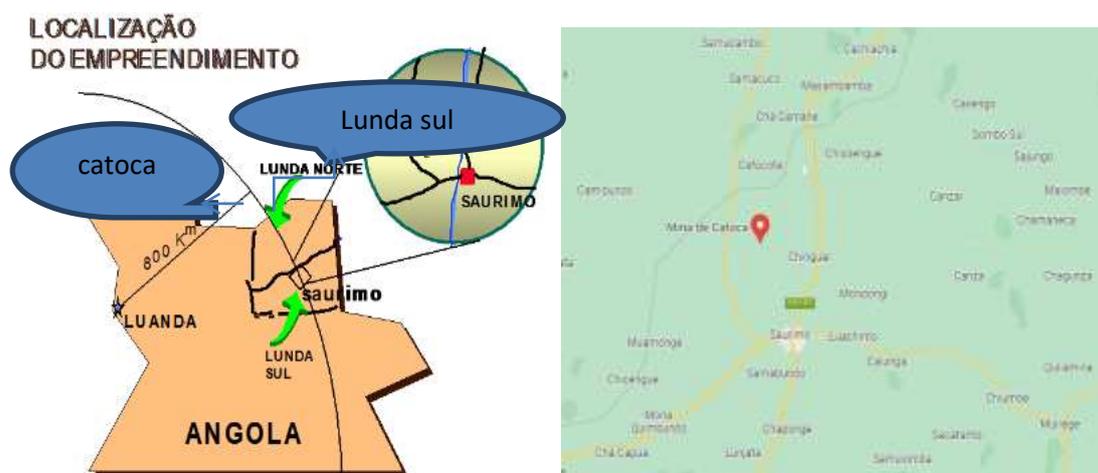


Figura 7 e 8: Localização da mina de Catoca; fonte: relatório de estágio, google map

#### Coordenadas Geográficas da mina de Catoca

Vértece	latitude			longitude		
A	09°	18′	25″	20°	15′	00″
B	09°	18′	25″	20°	24′	05″
C	09°	30′	05″	20°	24′	04″
D	09°	30′	05″	20°	14′	58″

Fonte: Endiama -E.P

#### 4.1.2 Água e rios

A rede hidrográfica da região também está orientada na direcção Norte e faz parte da bacia de uma grande artéria fluvial-río 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 9).



Figura 9: (A,B) Recursos hídricos do rio Chicapa. Fonte: Relatório catoca 2011

#### 4.1.3 Fauna e flora

Na região da mina de Catoca, localizada em Angola, a fauna e a flora são ricas e diversas. A área circundante à mina é caracterizada por uma vegetação predominante de savana, com uma variedade de espécies de plantas adaptadas às condições do clima local.

A vegetação inclui árvores como acácias, baobás, palmeiras e outras espécies típicas da região. Essas plantas fornecem habitat e alimento para uma variedade de animais que habitam a área.

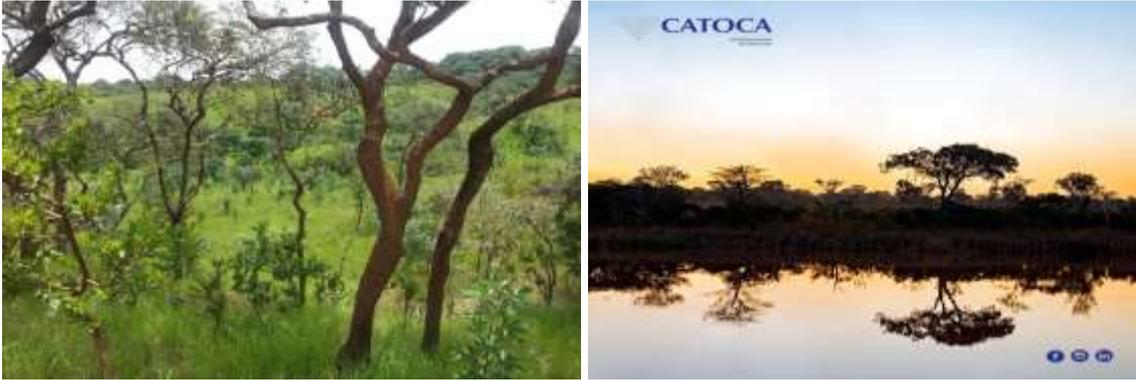


Figura 10 e 11: Área de savana arborizada; Fonte: Relatório de estágio, macongo; google, [www.catoca.com](http://www.catoca.com)

No que diz respeito à fauna, a região de Catoca abriga uma variedade de espécies animais. Entre os mamíferos presentes estão elefantes, leopardos, rinocerontes-negros, búfalos, antílopes, entre outros. Também é possível encontrar uma grande diversidade de aves, como águias, abutres, falcões, papagaios e muitas outras espécies. Além disso, a área é lar de répteis como cobras, lagartos e tartarugas, além de uma variedade de insetos e pequenos animais.



Figura 12 e 13: Filhote de leão ,Gazelas . Fonte: [ww.google.com](http://ww.google.com)

É importante ressaltar que a conservação da fauna e da flora é uma preocupação fundamental para as operações da mina de Catoca. Empresas de mineração responsáveis geralmente implementam medidas de mitigação e conservação para proteger a biodiversidade e reduzir o impacto ambiental das suas atividades.

#### **4.2 Vias de acesso**

Existem diferentes vias de acesso à mina de Catoca, dependendo da localização e do tipo de transporte utilizado.

#### 4.2.1 Via Aérea

A maneira mais comum de acesso é por via aérea, através do Aeroporto Internacional de Saurimo e/ou do Aeroporto Internacional 4 de Fevereiro em Luanda. A partir desses aeroportos, é possível fretar um pequeno avião ou helicóptero para chegar à mina de Catoca.



Figura 14: Aeroporto internacional de Saurimo. Fonte: jornal de Angola 07/09/2021

#### 4.2.2 Via terrestre

As estradas que ligam a mina de Catoca a outros pontos da província e do país incluem:

1. Estrada Nacional 180 – Esta é a estrada principal que liga a cidade de Saurimo, capital da província da Lunda Sul, à mina de Catoca. É uma estrada asfaltada e bem conservada, permitindo um acesso relativamente fácil à mina.
2. Estrada Nacional 180B – Essa estrada conecta a mina de Catoca à cidade de Lucapa, outra importante região diamantífera na província da Lunda Norte. Também é uma estrada asfaltada e costuma estar em boas condições.



Figura 15 e 16: Estrada nacional 180. Fonte: google maps, google imagens.

Estrada Nacional 225 – Essa estrada liga Saurimo à cidade de Dundo, que é a capital da província da Lunda Norte. É uma rota alternativa para chegar à mina de Catoca, caso você esteja vindo de Dundo ou de outras localidades ao norte da província.

Além dessas estradas principais, existem também estradas secundárias e caminhos internos à mina de Catoca, que são usados para fins de transporte interno de funcionários e recursos.

No entanto, é importante sempre verificar as condições das estradas antes de viajar, pois as condições podem variar e algumas estradas podem estar em manutenção. É aconselhável obter informações atualizadas com as autoridades locais ou com a empresa responsável pela mina de Catoca antes de iniciar sua viagem.

### **4.3 População**

Saurimo é uma cidade, município e capital da província de Lunda Sul

Segundo as projeções populacionais de 2018, elaboradas pelo Instituto Nacional de Estatística, conta com uma população de 501 904 habitantes e área territorial de 24 900 km<sup>2</sup>, sendo o município mais populoso da província.

### **4.4 Geografia**

É limitado a norte pelos municípios de Lucapa e Cambulo, a leste pela República Democrática do Congo, a sul pelo município de Dala, e a oeste pelos municípios de Cacolo e Lubalo.

Situado na região leste de Angola, o município tem uma altitude média de 1081 metros ao nível do mar.



Figura 17: Localização geográfica do empreendimento mineiro de Catoca. fonte: Relatório de estágio, macongo.

#### 4.4.1 Clima

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, predomina, tanto na cidade como no município, o clima subtropical húmido (Cwa), apresentando uma temperatura média anual de 22 °C.

Com um regime de chuvas abundantes com uma precipitação média anual de 1350 mm, com grande incidência nos meses que vão de setembro a abril, apresentando um clima húmido e chuvoso com manhãs cinzentas, tarde pouco nubladas ou geralmente nubladas e noites húmidas e amenas.



Figura 18: Zona leste de Angola. Fonte: Relatório de estágio, macongo.

A estação seca e fria vai de maio a agosto, apresentando ventos suaves (alísios secos) que sopra do interior do continente, ou seja do sudeste, trazendo consigo massa de ar seco, que baixa a humidade relativa do ar até 25%, proporcionando manhãs e madrugadas frias e tardes quentes, secas e ensolaradas até ao final da estação seca quando começa a surgir as primeiras chuvas; em setembro, as temperaturas sobem bruscamente atingindo valores máximos de 38 °C, começando a cair ligeiramente até os finais de novembro.

#### 4.5 Geologia da região

Os diamantes em Catoca são originários de kimberlitos, que são tipos específicos de rochas ígneas que contêm diamantes. Os kimberlitos são formados a partir da ascensão de magma rico em carbono até a superfície da Terra. Esses magmas levam os diamantes de profundidades extremas até a superfície, onde podem ser erodidos e depositados nas áreas aluviais.

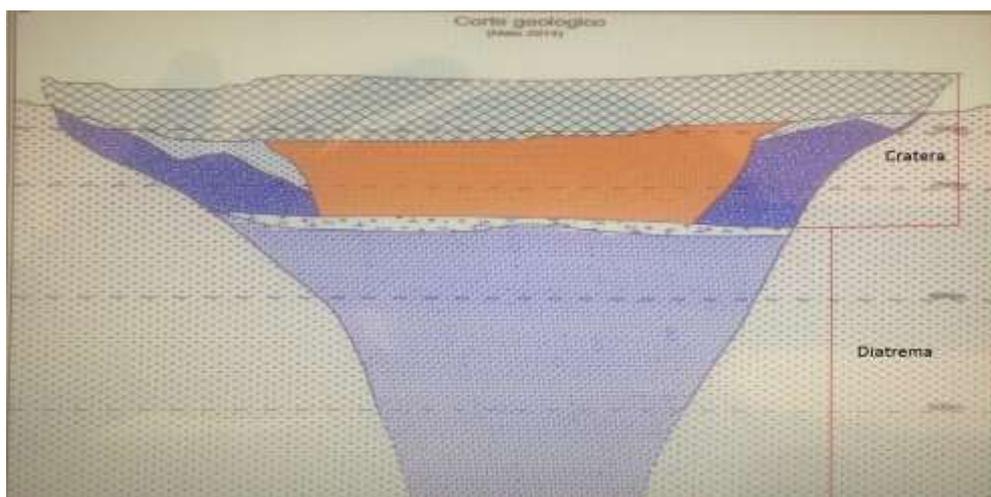


Figura 19: Corte geológico da chaminé. Fonte: Relatório de estágio, macongo.

Além dos kimberlitos, a região de Catoca também possui formações de calcário, metassedimentos e outros tipos de rochas metamórficas. Essas rochas são parte integrante da história geológica da região e podem fornecer informações valiosas sobre os processos geológicos que ocorreram ao longo de milhões de anos.

A compreensão da geologia da região de Catoca é fundamental para a exploração e extração eficiente dos diamantes. Os estudos geológicos são realizados para identificar as áreas de maior potencial diamantífero, localizar os kimberlitos fonte dos diamantes e determinar as melhores técnicas de extração.

É importante ressaltar que a geologia da região de Catoca pode ser complexa e variada em diferentes áreas. O conhecimento detalhado da geologia local é fundamental para garantir o sucesso das operações de mineração e para minimizar o impacto ambiental.

#### 4.5.1 Caracterização das rochas da região

Na região da mina de Catoca, localizada na província de Lunda Sul, em Angola, predominam rochas do tipo kimberlito. O kimberlito é um tipo de rocha magmática vulcânica que se formou a partir de uma erupção violenta e rápida, trazendo consigo fragmentos do manto terrestre. Essa rocha é conhecida por ser a principal fonte de diamantes em todo o mundo.

Os kimberlitos de Catoca são caracterizados por uma matriz de rocha vulcânica porfirítica, geralmente de cor cinza a marrom, que contém diversos minerais como olivina, piroxênio, serpentina e flogopita.



Figura 20 e 21: Rocha kimberlítica e encaixante da mina de catoca. Fonte: google, www.Catoca.com.

Além dos kimberlitos, também podem ser encontradas na região da mina de Catoca outras formações rochosas associadas, como quartzitos, xistos e granitos. Essas rochas costumam ser menos exploradas do que os kimberlitos, porém, também podem conter depósitos minerais de interesse econômico.

## 4.6 Mina de catoca

A Sociedade Mineira de Catoca Lda. É uma empresa angolana de prospecção, exploração, recuperação e comercialização de diamantes, criada por iniciativa do governo angolano de desenvolver o primeiro kimberlito nacional.



Figura 22: Processo de carregamento e transporte na mina de catoca. Fonte: google, [www.catoca.com](http://www.catoca.com).

A mina é operada e explorada pelo empreendimento conjunto Sociedade Mineira de Catoca Ltda. Compõem a Sociedade Mineira de Catoca os capitais da Endiama-E.P (capital misto angolano), Alrosa (capital russo), Lev Leviev International – LLI (China). O capital investido na Sociedade Mineira de Catoca - SMC têm as seguintes participações:

- Endiama (Angola): 41
- Alrosa (Rússia): 41%
- Lev Leviev International – LLI (China): 18,0%

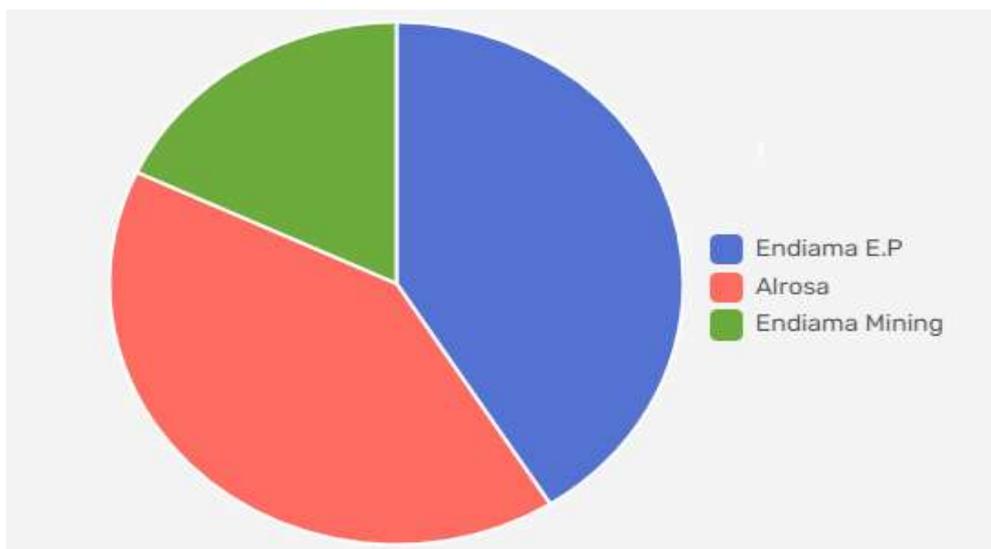


Figura 23: Empresas que constituem a sociedade mineira de Catoca. Fonte: wikipédia

#### 4.6.1 Metodologia de lavra utilizada na mina de Catoca

A metodologia de lavra utilizada na Mina de Catoca envolve a exploração a céu aberto, também conhecida como mineração a céu aberto, que é uma técnica comum na extração de minerais, especialmente em depósitos de diamantes. Abaixo, descrevo os principais aspectos da metodologia de lavra utilizada na Mina de Catoca:

**Escavação a céu aberto:** A mina de Catoca opera por meio da escavação de uma grande cavidade a céu aberto. Este tipo de mineração é adequado para depósitos de diamantes localizados próximos à superfície da Terra.

**Preparação do terreno:** Antes de iniciar a extração, é necessário remover a camada superficial de solo e rochas (material estéril) que cobre o depósito de diamantes. Isso é feito usando equipamentos de escavação, como escavadeiras e caminhões basculantes.

**Perfuração e detonação:** Após a remoção do material estéril, a equipe de mineração realiza perfurações na rocha-mãe que contém os diamantes. Em seguida, explosivos são usados para fragmentar a rocha em pedaços menores.



Figura 24 e 25: Desmonte de rochas com explosivos na mina de catoca. Fonte: google, www. Catoca.com.

**Carregamento e transporte:** os pedaços de rocha resultantes das detonações são carregados em caminhões basculantes para serem transportados para uma usina de processamento, lá os diamantes serão separados do restante do minério.



Figura 26 e 27: Sistema de transporte e carregamento de estéril. Fonte: google, catoca.com

**Separação e processamento:** A usina de processamento usa vários métodos para separar os diamantes dos outros minerais e fragmentos de rocha. Isso pode incluir a lavagem por gravidade, peneiramento e uso de máquinas de raios X para identificar diamantes.

**Beneficiamento e classificação:** após a separação, os diamantes passam por um processo de beneficiamento e classificação, onde são categorizados com base em sua qualidade e tamanho. Diamantes maiores e de alta qualidade são mais valiosos.

**Armazenamento e transporte:** os diamantes brutos classificados são armazenados e depois enviados para centros de lapidação ou polimento, onde serão transformados em joias.

É importante notar que a Mina de Catoca opera de acordo com regulamentos e práticas de mineração ambientalmente sustentáveis para minimizar os impactos ambientais da mineração a céu aberto. Além disso, o processo de mineração é monitorado para garantir a segurança dos trabalhadores e o cumprimento das regulamentações de segurança

#### **4.6.2 Metodologia de transporte**

Na mina de Catoca, o método de transporte de minério geralmente envolve o uso de caminhões basculantes. Esses caminhões, também conhecidos como haul trucks, são veículos pesados especialmente projetados para transportar grandes quantidades de minério a granel.

Esses caminhões operam em uma rede de estradas e vias dentro da mina, conectando as áreas de extração com os pontos de processamento ou armazenamento.

Eles são carregados com o minério extraído nas frentes de lavra, por meio de escavadeiras ou pás-carregadeiras, e então transportam o material até os pontos de destino.



Figura 28: Escavadeira fazendo a carregamento do material desmontado para ser transportado.

Fonte: relatório de estágio, macongo.

Os caminhões basculantes possuem carrocerias com uma capacidade de carga considerável, permitindo transportar grandes volumes de minério em cada viagem. Eles são especialmente projetados para operar em terrenos irregulares e em condições de alto impacto, devido à natureza do trabalho em uma mina.

O processo de transporte de minério na mina de Catoca é monitorado e controlado de perto para garantir a eficiência e segurança. Os operadores dos caminhões seguem rotas predefinidas e podem receber instruções por meio de sistemas de comunicação e monitoramento. Além disso, a manutenção regular dos caminhões é realizada para garantir seu bom funcionamento.

É importante ressaltar que a metodologia de transporte de minério pode variar dependendo das características específicas da mina e dos equipamentos disponíveis. No entanto, o uso de caminhões basculantes é comumente adotado para o transporte de minério em grandes quantidades em minas a céu aberto como a de Catoca.

#### 4.6.3 Ambiente higiene e segurança

Em ambientes de mineração, a saúde, a higiene e a segurança são aspectos críticos para garantir o bem-estar dos trabalhadores e prevenir acidentes.

A mina possui programas abrangentes de treinamento para todos os trabalhadores, abordando questões específicas de segurança, procedimentos operacionais, reconhecimento de riscos e uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPIs).

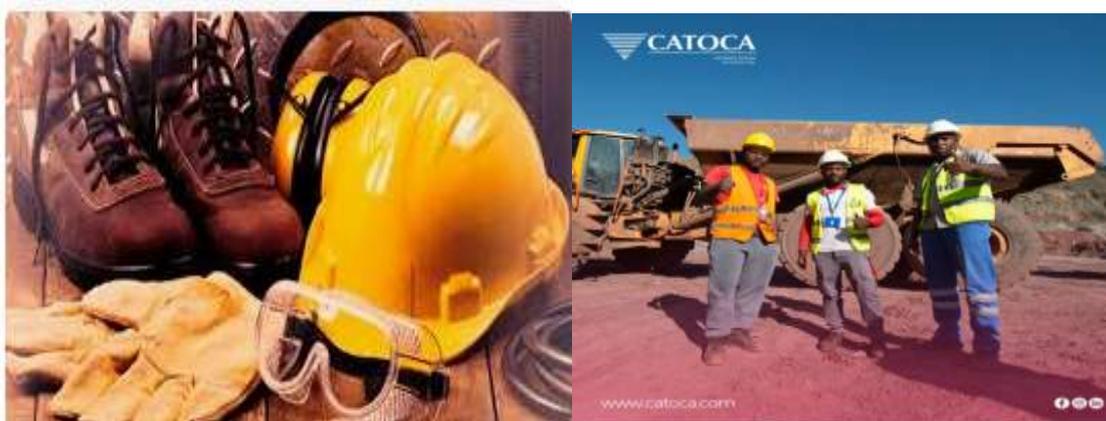


Figura 29: Equipamentos de proteção individual. Fonte: [www.catoca.com](http://www.catoca.com)

A mina por sua vez, garante que os trabalhadores usem EPIs adequados, como capacetes, luvas, botas de segurança, óculos de proteção e máscaras respiratórias, dependendo das condições específicas de trabalho.

#### 4.6.3.1 Ventilação e controlo de poeiras

Existem sistemas eficazes de ventilação para controlar a exposição dos trabalhadores a poeiras, gases e produtos químicos perigosos presentes na mina. Em momentos de detonação dos explosivos os operadores são obrigados a saírem da mina e se alojarem em locais seguros enquanto a explosão é feita, parando com a produção em várias frentes de trabalho.



Figura 30: Demonstração do sistema de irrigação para o combate a poeiras. Fonte: google imagens

#### 4.6.3.2 Gestão de emergência:

Desenvolve-se planos de resposta a emergências que incluam procedimentos claros para evacuação, primeiros socorros e comunicação eficaz em caso de acidentes.

A mina possui programas regulares de monitoramento da saúde ocupacional dos trabalhadores para identificar precocemente possíveis impactos à saúde relacionados ao trabalho.

#### 4.6.3.3 Envolvimento dos trabalhadores:

Incentiva-se a participação ativa dos trabalhadores na promoção de um ambiente de trabalho seguro, encorajando relatos de condições inseguras e sugerindo melhorias nos processos.

É importante que a mina de Catoca, como qualquer operação de mineração, esteja em conformidade com as regulamentações locais e internacionais de saúde, segurança e meio ambiente. Além disso, adaptar as práticas para atender às características específicas do local e às condições de trabalho é fundamental para garantir um ambiente de mineração seguro e sustentável

## **4.7 Desempenho dos equipamentos de carregamento e transporte nos custos operacionais.**

### **4.7.1 A seleção de equipamentos de carregamento e transporte**

O problema da seleção de equipamentos, tem interface com as fases de projeto das instalações da mina e com a fase de produção, influenciando nos parâmetros econômicos operacionais e de longo prazo. Assim, a seleção de equipamentos baseada somente na experiência do tomador de decisões incorre em altos riscos econômicos, motivando o desenvolvimento de estudos e pesquisas na área.

Equipamentos de carregamento são tipicamente selecionados para corresponder às condições de minas em termos de capacidade necessária, às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra, ao mesmo tempo.

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

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

Para SILVA (2009), as principais considerações na seleção primária dos equipamentos são:

- Geologia do depósito;
- Metas de produção;
- Vida útil do projeto;
- Disponibilidade de capital;

- Custo de operação;
- Parâmetros geotécnicos;
- Retorno de investimentos;
- Interferências com o meio ambiente.

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

#### **4.7.2 Produtividade das frotas de carregamento e transporte**

A produtividade das frotas de carregamento e transporte, na mineração a céu aberto, depende de que o projeto e o planejamento de lavra sejam adequados à jazida e de que os equipamentos selecionados 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;
- Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, desnível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões;
- Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “in-situ”, empolamento, umidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- Projeto da deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;
- Projetos das estradas: largura das estradas (recomenda-se uma largura mínima de pista igual a 3,5 vezes a largura do caminhão, o que deixa uma faixa igual a meio caminhão de largura entre os veículos que se cruzam e nas laterais. Caso a faixa seja estreita, o motorista se sentirá inseguro e reduzirá a velocidade ao se aproximar um veículo em sentido contrário), inclinação das rampas de acesso, raio das curvas, superfície de rolamento;
- Planejamento 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 caminhão, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros.
- Infraestrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc.;
- Equipamentos para demais operações: manutenção das estradas e frentes de lavra, desmonte de minério e do estéril etc.

#### **4.7.2.1 Conceitos 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 seleção de equipamentos.

Para os cálculos de estimativa de produção é necessário considerar alguns conceitos fundamentais, listados e descritos por SILVA (2009):

##### **Volume do balde (Vc)**

Deve representar a capacidade operacional, rasa ou coroada conforme o caso, dos equipamentos de carregamento e transporte.

$V_c = (\text{carga máxima admissível no balde})$

##### **Fator de enchimento do balde (Fill Factor)**

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

##### **Empolamento (e)**

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

$$\lambda = \frac{\gamma_c}{\gamma_s}$$

onde:

$\lambda$  = Fator de empolamento;

$\gamma_c$  = Peso específico do material no corte;

$\gamma_s$  = Peso específico do material empolado ou solto;

$$e = (\lambda - 1) \times 100\%$$

onde: **e** = Empolamento.

$$V_s = V_c \times \frac{\gamma_c}{\gamma_s} = \lambda \times V_c$$

Onde:

$V_c$  = Volume originalmente no “corte” ou volume “in situ”;

$V_s$  = Volume do material rochoso após a fragmentação.

Carga de tombamento (tipping-load)

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

Carga útil (pay-load)

É a carga que não ultrapassa 80% do “tipping-load” (fator de segurança de  $100/80 = 25\%$ )

Fator de disponibilidade do equipamento

A palavra disponibilidade é extremamente flexível e a sua correta determinação é primordial para os cálculos de rendimento em longo prazo.

Fatores tais como má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade do equipamento se divide em: Disponibilidade Mecânica e Disponibilidade Física.

Disponibilidade Mecânica

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

Onde:

DM = Disponibilidade mecânica;

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

MP = Manutenção preventiva, compreendendo todo o serviço programado, conservação e inspeção dos equipamentos, executados com a finalidade de manter o equipamento em condições satisfatórias de operação;

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

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

Disponibilidade Física

Corresponde à parcela das horas programadas em que o equipamento está apto para operar, isto é, não está à disposição da manutenção.

$$DF = \frac{HP - HM}{HP} \times 100\%$$

Onde:

DF = Disponibilidade física que representa a percentagem do tempo que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a produção;

HP = Corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HM = Corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

Fator de utilização do equipamento

Fator aplicável sobre as horas disponíveis do equipamento. Corresponde à parcela em que o equipamento está em operação. Alguns dos fatores que influem na utilização de um equipamento são:

Número de unidades ou porte compatível, maior ou menor que o requerido;

Paralisação de outros equipamentos;

Falta de operador;

Deficiência do operador;

Condições climáticas que impeçam a operação dos equipamentos;

Tipo de desmonte de rocha na mina;

Preparação das frentes de lavra.

$$U = \frac{HT}{HP - HM} \times 100\%$$

Onde:

HT = Total de horas efetivamente trabalhadas;

HP = Corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HM = Corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

### **Rendimento**

É a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, o rendimento é o produto da disponibilidade física pela utilização.

### **Tempo de ciclo**

É o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações como, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento, etc.

O tempo de ciclo total de uma operação é o somatório de tempo de todas as atividades que compõem essa operação.

1. Tempo de carregamento do camião (varia de acordo com o acessório de carregamento).
2. Manobra do camião na área de carregamento (troca de camião) (normalmente, 0,6-0,8 min.)
3. Manobra e tempo de despejo no ponto de despejo (normalmente, 1,0-1,2 min.)

$$T_{\text{ciclo}} = T_{\text{carga}} + T_{\text{manobra}} + T_{\text{percurso}} + T_{\text{despejo}}$$

$$T_{\text{ciclo}} = \text{Tempo de ciclo}$$

$$T_{\text{carga}} = \text{Tempo de carga}$$

$$T_{\text{manobra}} = \text{Tempo de manobra}$$

$$T_{\text{percurso}} = \text{Tempo de percurso}$$

$$T_{\text{despejo}} = \text{Tempo de despejo}$$

A produção pode ser estimada pela seguinte equação:

$$P = C_{\text{ciclo}} \times Ch$$

P = produção

Cciclo = carga/ciclo

Ch = ciclos/hora

Abaixo é realizada uma apresentação das distâncias médias de transporte e o tempo de ciclo do equipamento apresentado que varia conforme o estado em que se encontra.

Eficiência de operação (E)

É de máxima importância que a produção seja mantida em ritmo estável. É esta eficiência de trabalho que resulta em maior lucratividade.

Fatores devido às paradas, atrasos ou deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento devem-se, entre outros, aos seguintes motivos:

Características do material;

Supervisão no trabalho;

Esperas no britador;

Falta de caminhão;

Maior ou menor habilidade do operador;

Interrupções para a limpeza da frente de lavra;

Desmontes de rochas;

Capacidade do balde;

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

$$E = \frac{tc_{\text{min}}}{tc_{\text{ef}}} = \frac{tc_{\text{min}}}{tc_{\text{min}} + \sum tp} = \frac{1}{1 + \frac{\sum tc}{tc_{\text{min}}}}$$

Se  $\sum tc = 0$  ; E=1 ou E=100%

Se  $\sum tc \neq 0$  ; E<1 ou E<100%

onde:

$tc_{\text{min}}$  = Tempo de ciclo mínimo;  $tc_{\text{ef}}$  = Tempo de ciclo efetivo;  $tp$  = Tempo perdido.

## OEE – Overall Equipment Efficiency – Eficiência Geral de Equipamento

É o indicador que expressa a Eficiência Geral do Equipamento e é dado pelo produto do Rendimento pela Eficiência.

### Operação conjugada

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

$$P_n = P_{ed} \times P_{ned} \times C_r^N$$

Onde:

$P_n$  = Probabilidade de ter exatamente n unidades disponíveis;

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

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

$C_r^n$  = Combinação de itens tomados, sendo r em um certo tempo.

### Resistência ao rolamento

A manutenção da superfície das estradas é muito importante para garantir a velocidade de transporte e reduzir os custos com pneus.

A resistência ao rolamento é uma medida da força necessária para superar o atrito interno dos rolamentos e, em unidades montadas sobre rodas pneumáticas, para superar o efeito de retardamento entre os pneus e o solo. Isto inclui a resistência causada pela penetração dos pneus no chão e pela flexão do pneu sob carga.

$$R_r = K.PBV \quad (18)$$

Onde:

$R_r$  = Resistência ao rolamento;

PBV = Peso bruto do veículo (kgf);

K = Coeficiente de rolamento (kgf/t);  $K = 20 + 6a$  a = Afundamento (cm).

O coeficiente de rolamento depende do terreno sobre o qual o equipamento se locomove. Alguns valores aproximados, em K(kgf/t), são:

Asfalto ou concreto = 20

Terra seca e firme = 30

Terra seca e solta = 40

Aterro sem compactação = 80

Terra muito úmida e mole = 120

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

#### Resistência de rampa

É uma medida da força, devido à gravidade, que é preciso superar para movimentar a máquina em rampas desfavoráveis (aclives).

A resistência da rampa é uma medida da força, devido à gravidade, que ajuda na movimentação da máquina em rampas favoráveis (declives).

Via de regra, as rampas são medidas em porcentagem de inclinação, que é a relação entre a ascensão ou queda vertical e a distância horizontal em que ocorre essa ascensão (+) ou queda (-), segundo SILVA (2009).

Por exemplo, uma inclinação de 10% equivale a uma ascensão ou queda de 10 m para cada 100 m de distância horizontal (10:1) ou  $\text{tg}\theta = 10/100 \Rightarrow \theta = 5,7^\circ$  em relação à horizontal. Uma ascensão de 4,60 m em 53,50 m corresponde a uma inclinação de 8,6%. Isto é:

$$(4,60 \text{ m} : 53,50 \text{ m}) \times 100\% = 8,6\% \Rightarrow \theta = 4,9^\circ.$$

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

$$FRR = \text{kgf/t} \times \% \text{ de rampa}$$

A resistência (ou assistência) de rampa pode então ser obtida multiplicando o Fator de Resistência de Rampa pela massa da máquina em toneladas.

$$\text{Resistência de Rampa} = FRR \times PBV$$

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

### 4.7.3 Comparação da produção planejado e realizado dos equipamentos de carregamento e transporte .

A mina de catoca opera com varias frentes de trabalho e com vários destinos de transporte do material desmontado desde o local de desmonte até as centrais de transporte, escombreyras ou até aos stocks.

Dentre as quais apresentamos a baixo as distâncias médias de transporte na mina de catoca.

Tabela 2: Distâncias média de transporte na mina de catoca.

Distâncias médias de transporte	Unidades (km)
Mina para CT-2	5,7
Mina para CT-1	5,3
Mina – escombreyra	5,2
Estocks para CT 2	1,0
Estocks para CT1	3,2
Baldeação e T.T	2,5

Fonte : Relatório wenco

Tabela 3: Algumas descrições das velocidades dos equipamentos de transporte ( camiões)

Perfil	Km/h
Horiontal vazio	35
Horiontal carregado	30
Subindo carregado	12
Descendo vazio	20
Descendo carregado	20

Fonte: Estudo do dimensionamento de equipamentos de carregamento e transporte utilizados na mineração a céu aberto (Larison Moreira Almeida)

### 4.7. 3. 1 Carregadeiras e Escavadoras

A seleção de equipamentos de carregamento na mina de catoca depende de vários fatores, incluindo o tipo de minério, as condições geológicas, as metas de produção e outros requisitos operacionais. As escavadoras frontais e as retro, acompanhadas com as carregadoras, são os principais equipamentos usados para o carregamento do material desmontado.

Tabela 4: Descrições das escavadoras frontal e retro.

Equipamentos	Modelos	Capacidade	Unidades/frota	Produção (mil. m <sup>3</sup> /sem).
Escavadoras	Caterpillar 385/390	14-16 m <sup>3</sup>	1	221,1
	Komatsu PC 3000	12-14 m <sup>3</sup>	3	472,34
	Liebherr 984	5-7 m <sup>3</sup>	5	1156
	Liebherr 9250/9350	9-13 m <sup>3</sup>	1	241,3
	Caterpillar 6040	18-22 m <sup>3</sup>	3	914,58
Total		58-72 m <sup>3</sup>	13	3005

Fonte: Relatório wenco (catoca)

Carregadeiras Frontais (Front-end Loaders): Essas máquinas são usadas para carregar minério em caminhões ou transportadores. Elas são projetadas para serem robustas e capazes de lidar com materiais pesados.

Escavadeiras (Excavators): Em algumas minas, as escavadeiras são usadas para cavar e extrair minério. Elas também podem ser usadas para carregar caminhões.



Figura 31: Escavadora frontal e uma retro, carregando um caminhão fora de estrada

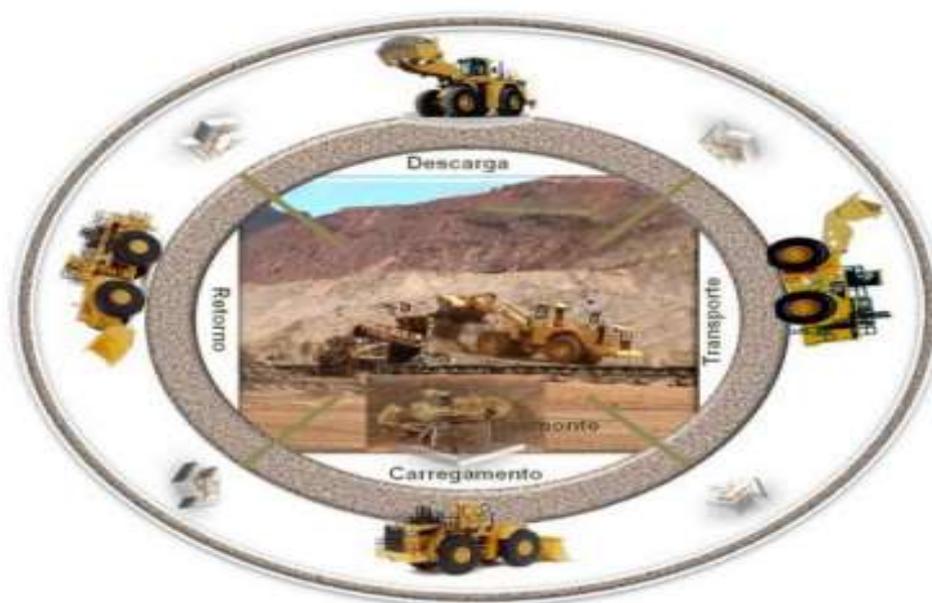
Fonte: Relatório de estágio macongo

A pá carregadora é o equipamento do setor produtivo, sobretudo, se pensarmos na movimentação de material.

Questionado sobre a razão dessa versatilidade, argumenta-se que boa parte disso se dá pela composição da máquina: um equipamento de rodas com um balde em formato de concha.

Tecnicamente, isso permite a coleta e deslocamento de material, com segurança, eficiência e praticidade. Por isso, é um equipamento tão importante dentro das cadeias de construção e mineração, justamente pela versatilidade e confiabilidade do seu funcionamento: pegar, deslocar e descarregar.

Também destaca-se que ela pode ser usada para carregar caminhões e diversas outras finalidades. Além disso, esses equipamentos existem em uma ampla gama de tamanhos e especificações, o que transforma as pás em protagonistas no ambiente de trabalho, encarando desde os serviços mais leves até os mais severos, como os que existem no cenário da mineração.



Fonte: Lopes (2010)

Figura 32: Ciclos da pá carregadora

Tabela 4: Descrição da planificação dos equipamentos de carga da mina de catoca no Iº semestre de 2023

MODELOS	CAT. 6040	KOM. PC3000	CAT. 6015	HM	CAT. 992	Total
Frota	3	3	1	5	1	13
Disponível	2	2	1	4	1	10
Utilizável	2	2	1	4	1	
Cap. Balde (m3)	18	14	7	7	9	55
Taxa de produção diária (mil m3/dia)	17,9	12,1	2,3	21,3	1,5	55,1
Produção semestral (mil m3/sem)	1628,9	1101,1	209,3	1938,3	136,5	5014,1

Fonte: Relatório wenco (Catoca).

O dimensionamento correto das carregadeiras é extremamente importante, pois é um fator decisivo no alcance da produção desejada ou planificada. Para o ano de 2023 foram dimensionadas no total 13 carregadeiras para produzir mais de 15 milhões de m3/ano de massa mineral, na tabela acima mostra a previsão da produção semestral de cada equipamento de carga e a sua taxa de produção diária.

Tabela 5: Demonstração da produção dos equipamentos de carga- Real.

<b>MODELOS</b>	<b>CAT. 6040</b>	<b>COM. PC3000</b>	<b>CAT. 6015</b>	<b>HM</b>	<b>CAT. 992</b>	<b>Total</b>
Frota	3	3	1	5	2	13
Disponível	2	2	1	4	1	10
Utilizável	2	2	1	3	1	
Cap. Balde(m3)	18	14	7	7	9	55
Taxa de produção diária (mil m3/dia)	17,9	12,1	2,3	21,2	1,5	55
Produção semestral (mil m3/sem)	1428,7	773,5	191,1	1601,6	63,7	4122,3

Para determinar-se a produção semestral, multiplicou-se a taxa de produção diária de cada equipamento pelos dias trabalhados no semestre que corresponderam a 182 dias e obtivemos a produção semestral prevista por equipamento.

$$\text{Produção semestral} = \text{taxa de produção} \times 182 \text{ dias; (mil m}^3\text{/sem)}$$

Para determinar-se a produção total no semestre, somou-se as produções de cada equipamento.

$$\text{Produção semestral total} = P1 + P2 + P3 + P4 + P5$$

P1 = Produção da CAT-6040

P2 = Produção da COM-PC300

P3 = Produção da CAT-6015

P4 = Produção da HM

P5 = Produção da CAT992

$$\text{Produção semestral total} = 8244,6 \text{ mil m}^3\text{/semestre}$$

#### 4.7.3.2 Produção prevista dos equipamentos de transporte

$$P = c_{ciclo} \times c_h ; \quad T_{ciclo} = T_{carga} + T_{manobra} + T_{percurso} + T_{despejo}$$

$$N_p = \frac{c_{ciclo}}{c_{carreg}}$$

$$c_h = \frac{60}{T_{ciclo}}$$

P = produção

$N_p$  = Número de passes da carregadeira

$c_{ciclo}$  = carga/ciclo

$c_h$  = ciclos/hora

Hef = horas efetivas de operação por semestre

Para estimarmos a produção semestral de cada equipamento multiplicou-se a produção horária pelo número de horas trabalhadas no semestre (Hef)

P/semestre = P×horas trabalhadas no semestre

No início das actividades de produção do ano em um empreendimento mineiro, são feitos estudos e avaliações daquilo que se trabalhou no ano anterior, e com isso faz-se um planeamento de acordo com os resultados obtidos e experiências adquiridas nos trabalhos anteriores, para o ano de 2023 foram estabelecidas metas a serem alcançadas com a produção de acordo com a exigência do mercado. Com isso, na tabela abaixo está representada a previsão da produção dos equipamentos no Iº semestre do ano de 2023.

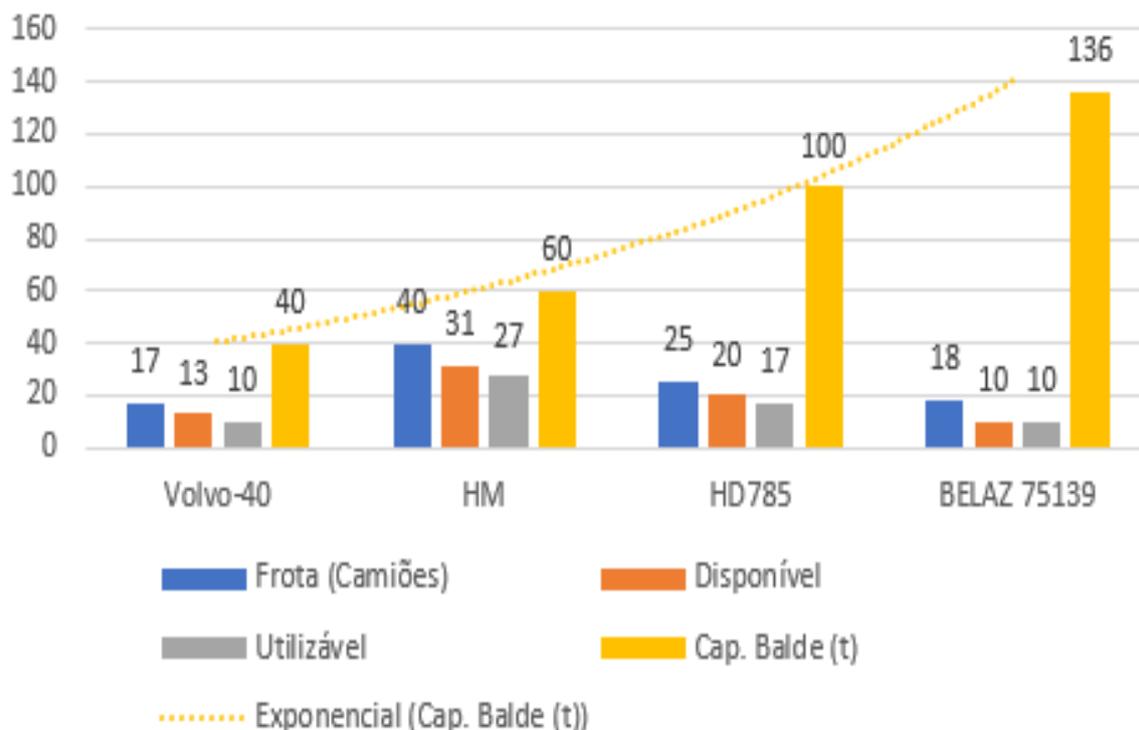
Tabela 6: Resultados previstos nos transportes por camiões no primeiro semestre de 2023.

MODELOS	Volvo-40	HM	HD785	BELAZ 75139	Total
Frota (Camiões)	17	40	25	18	86
Disponível	13	31	20	10	65
Utilizável	10	27	17	10	57
Cap. Balde (t)	40	60	100	136	376
Mil m3/semestre (mil)	354,7	3166,6	1995,0	817,0	6333,26

Fonte: Relatório wenco (mina de catoca)

De acordo com as exigências do mercado foram dimensionados equipamentos ideais de transporte para atingir a produção desejada e atender as exigências do mercado como ilustrado na tabela à cima referida, pra melhor ilustração construiu-se um gráfico (istograma) para demonstrar as características e capacidades dos camiões selecionados.

Gráfico 1: Plano programado dos equipamentos de transporte por camiões no Iº semestre de 2023



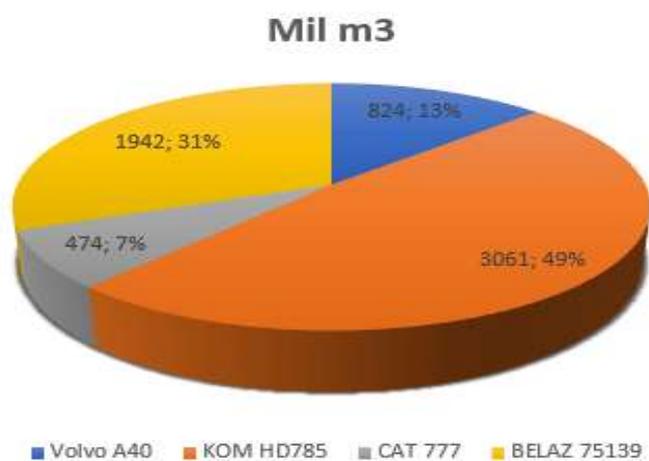
Depois da planificação e selecção dos equipamentos de transporte, conhecendo as suas capacidades e estimando os seus tempos de ciclos assim como os efetivos, obteve-se dados da produção prevista para o ano de 2023. A ideia é que a planificação seja cumprida na sua totalidade, mas devido a alguns factores o processo pode não correr como o planeado.

Tabela 7: Quantidade dos camiões e resultado de produção da massa mineira por camiões no primeiro semestre do ano de 2023.

Modelo	Volvo A40	KOM HD785	CAT 777	BELAZ 75139	Total
<b>Cap. Caçamba</b>	<b>40T</b>	<b>100T</b>	<b>100T</b>	<b>136T</b>	
<b>Frota (camiões)</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>71</b>
<b>Disponível</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>58</b>
<b>Utilizável</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>48</b>
<b>Mil m3</b>	<b>824</b>	<b>3061</b>	<b>474</b>	<b>1942</b>	<b>6300</b>

Fonte: Relatório wenco (mina de catoca)

Gráfico 2: Resultado real da massa mineira transportado por camiões no Iº semestre do ano de 2023(mil m3).



O transporte na mina de catoca utiliza sistema combinado que é o transporte por camiões e por correias transportadoras. Na tabela à baixo estão representados alguns indicadores do processo de transporte por correias transportadoras usadas na mina de catoca no primeiro semente de 2023.

Tabela 8: Indicadores do plano do processo de transporte por correias transportadoras no (Iº semestre de 2023).

		Unidades	Plano	Real
Indicadores da correia	Volume	Mil.m3	1716,6	828,1
	Masssa	Mil. T	3783,4	1769,6
	Massa por Quilómetro	Mil t-km	16792,2	11532,8
Transportadora	Volume por Quilómetro	Mil.m3-km	3604,8	1739,0
	Custos	Custo total mil \$	3776,52	3892,07
	Custo/m3	\$/m3	2,2	4,7
	Custos/ton-km	\$/ton-km	0,23	0,34
	Custos/m-km	\$/m3-km	1,0	2,2

Fonte: Relatório wenco (mina de catoca)

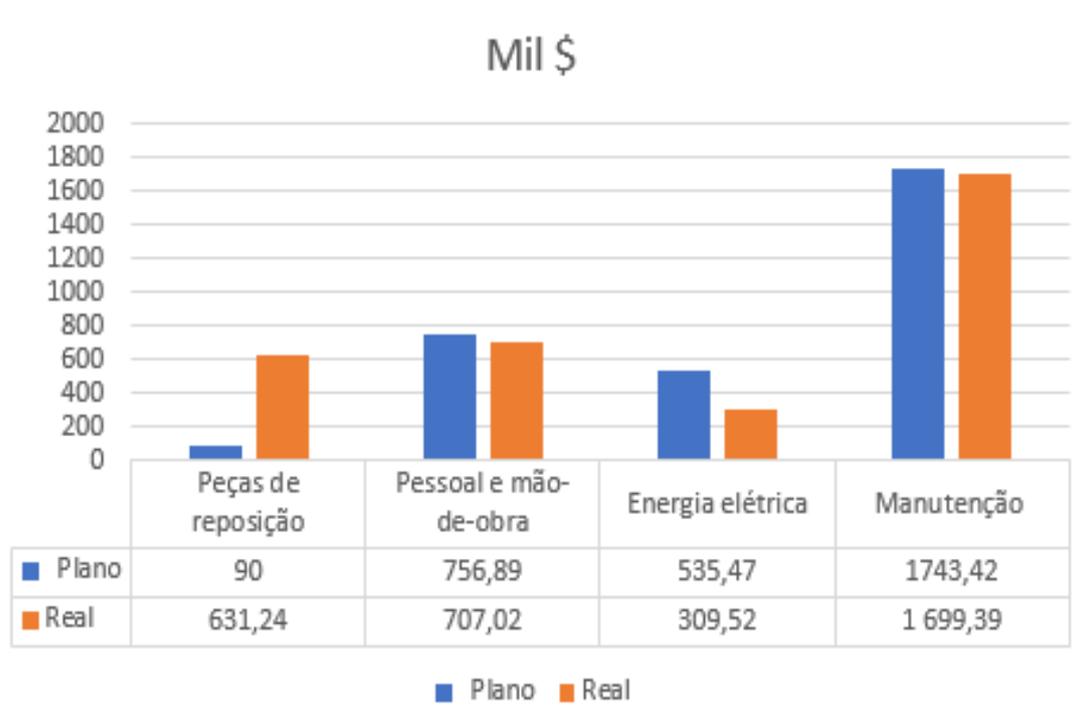
Tabela 9: Custos com correias transportadoras de janeiro à Junho de 2023

Designação	Unidade	Plano	Real
Peças de reposição	Mil \$	90,00	631,24
Mão-de-obra		<b>756,89</b>	<b>707,02</b>
Energia elétrica		535,47	309,52
Manutenção		<b>1743,42</b>	<b>1 699,39</b>

Fonte: Relatório wenco

O custo com a manutenção e com a mão de obra, representam os indicadores mais caros no processo de transporte por correias transportadoras.

Gráfico 3: Demonstração dos custos com correias transportadoras.



O processo de transporte é das operações mais complexas e custosas do processo de produção em uma mina, por isso, antes de se começar uma jornada produtiva é feito um estudo detalhado de todos os órgãos que fazem parte do processo.

Uma vez elaborado o plano de produção e dimensionado os equipamentos de produção, devemos monitorar e supervisionar todas as operações para garantir que tudo

corra como planejado, embora seja difícil cumprir na sua totalidade devido alguns imprevistos como: avarias nos equipamentos, indisponibilidade do operador ou ainda de fenômenos naturais.

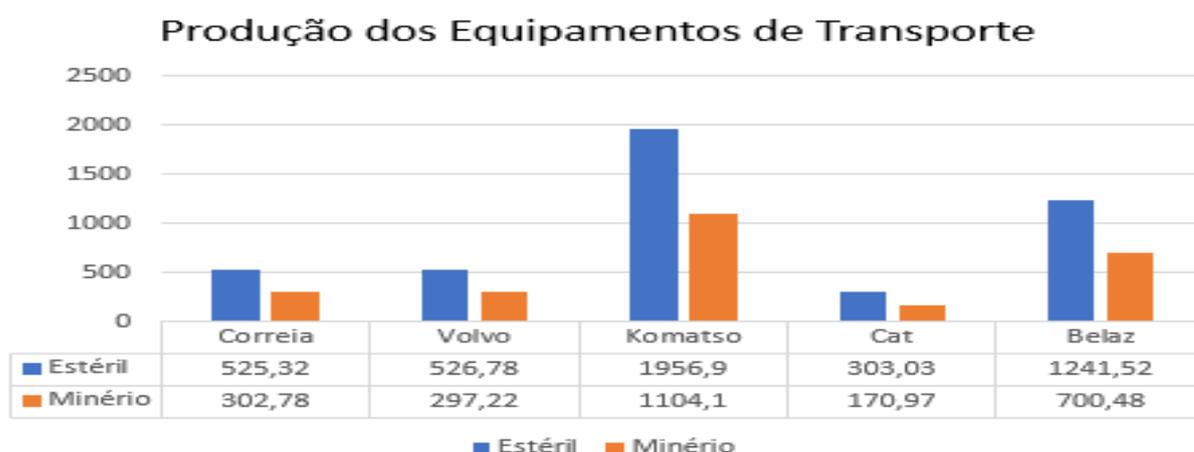
Para medirmos a eficiência do dimensionamento dos equipamentos de transporte, fez-se uma análise comparativa entre os resultados previstos e os resultados obtidos no terreno.

Tabela 10: Análise da produção dos equipamentos de transporte, plano e realizado.

Tipo de equipamento	Plano			Real			R/P
	Estéril	Minério	Total	Estéril	Minério	Total	Cumprimento do plano
Camião (mil m3)	4024,32	2308,94	6333,26	4032,00	2268,00	6300,0	99,50%
Correias (mil m3)	1089,18	627,42	1716,60	525,32	302,78	828,1	48,24%
Somatório(mil m3)	5113,50	2936,36	8049,86	4557,32	2570,78	7128,1	88,54%

Fonte: Relatório wenco(mina de catoca).

Gráfico 5: Representação da massa mineira transportada no primeiro semestre de 2023.



Conhecendo os custos unitários de transporte em \$/m3 por correias transportadoras e por camiões, podemos determinar os custos totais de produção no sistema de transporte pela seguinte equação:

$$\text{custo total} = \text{custo unitário} \times \text{produção total}$$

#### 4.7.3.3 Avaliação económica dos camiões e correias transportadoras

Da avaliação feita, conclui-se que as correias transportadoras apresentam menor custo no processo produtivo visto que tem menor impacto ambiental em termos de poluição e também exige pouca mão-de-obra para a sua operação. Em outros casos as correias transportadoras perdem vantagem em relação aos camiões devido ao seu alto custo de aquisição e de instalação assim também como a sua mobilidade depois de ser instalado.

Tabela 11: Comparação dos custos com os equipamentos de transporte.

Tipo de equipamento	Plano	Real	R/P
Correia (mil \$)	3776,52	3892,07	103%
Camiões (mil\$)	20266,43	26964,00	133%
Total	24042,95	30856,07	128,3%

Fonte: Relatório wenco(mina de catoca).

## **CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusões**

Depois de uma longa investigação chegou-se a conclusão que, o correto dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte da mina são elementos decisivos e de grande influência na definição da rentabilidade de uma mina.

De acordo com as comparações feitas, concluiu-se que os resultados obtidos na execução não fogem muito daquilo que foi dimensionado ou programado e perspectivado na planificação embora haja algumas diferenças consideráveis devido alguns imprevistos que fez com que reduzisse a produção e aumentasse nos custos.

Os camiões e as correias transportadoras são ótimos equipamentos de transporte em mineração a céu aberto quando são devidamente aplicados, a sua produtividade é condicionada pelos equipamentos de carregamento, para evitar as filas de espera e os equipamentos de carga não fiquem parados, o dimensionamento deve ser compatível.

### **5.2 Recomendações**

Como sequência a este trabalho, recomenda-se que se faça um estudo mais aprofundado do circuito de transporte da massa mineira em minas a céu aberto e os principais factores que influenciam na disparidade dos resultados obtidos e os previstos na planificação.

Recomenda-se também a comunidade estudantil no sector mineiro a consultarem este trabalho para enriquecer os conhecimentos e resolver problemas desconhecidos da eficiência do dimensionamento dos equipamentos de carregamento e de transporte.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Manual prático de escavação, terraplanagem e escavação de rochas (Hélio de Souza Ricardo, Guilherme Catalani):

DISSERTAÇÃO\_ Análise Custos Operacionais no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração

Adaptado de ZIMMERMANN e KRUSE, 2006.

[www.wikipédia.mina de catoca.com](http://www.wikipédia.mina de catoca.com)

[www.googlemaps](http://www.googlemaps), google imagens

Relatório wenco(mina de catoca).

Relatório de estágio, macongo.

Google, [www. Catoca.com](http://www.Catoca.com)

jornal de Angola 07/09/2021

[www.google maps.com](http://www.google maps.com)

Artman, 1992

Adaptado de SOUSA JÚNIOR (2012) Endiama

Descrição do processo de lavra em minas a céu aberto, johanna Mirelle Gómez Quvedo

Estudo do dimensionamento de equipamentos de carregamento e transporte utilizados na mineração a céu aberto (Larison Moreira Almeida)

PPGE3M Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração;

TCC - Sulamita Oliveira freitas dimensionamento de equipamentos de lavra

BORGES, Thiago Campos. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: . Acesso em: 25 abr. 2015.

## ANEXOS

Tabela 1: Tempos de ciclo da carregadeira frontal;

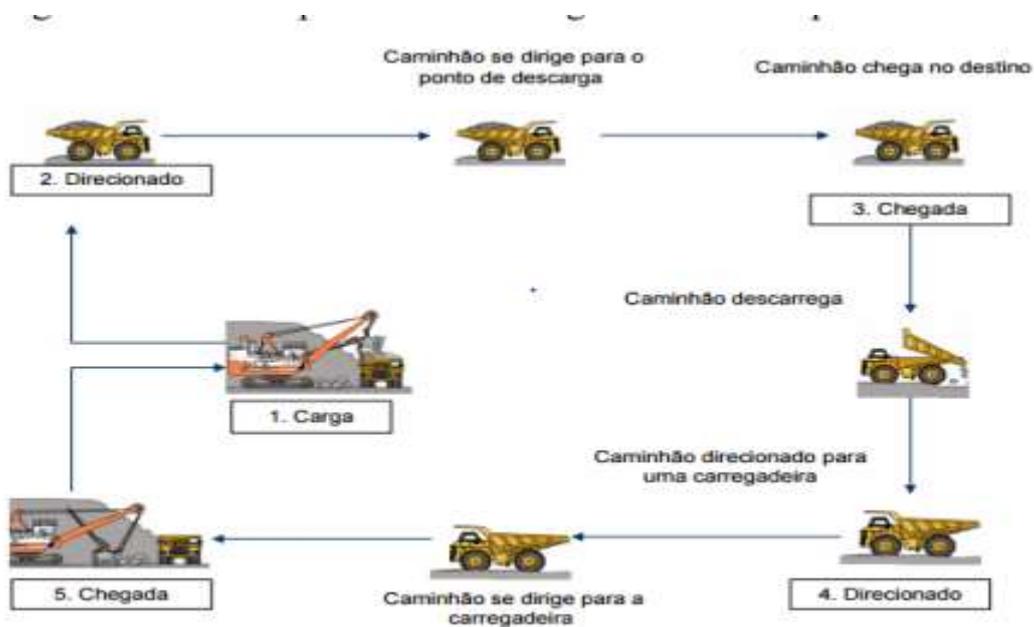
Fases da carregadeira frontal	Tempo de ciclo (minutos)
Carregamento	0,06
Transporte	0,15
Basculamento	0,05
Retorno	0,14
Total	0,40

Fonte: Hartman, 1992

Tabela 2: Eficiência do trabalho dos equipamentos.

Operações	Hora de trabalho	Fator de eficiência
Diurno	50min/h	0,83
Noturno	45min/h	0,75

Fonte: Manual de produção da caterpillar,2000



Fonte: Quevedo (2009).

Figura 1: Processo de carregamento e transporte por caminhões



Fonte: Caterpillar (2015)



Fonte: Caterpillar (2015)

Figura 2: Unidades escavo carregadora retro e um camião fora de estrada.



Fonte: Caterpillar (2015)



Fonte: Caterpillar (2015)

Figura 3 e 4: Modelo de pá carregadeira sobre pneus e sobre esteiras