UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Trabalho de Fim de Curso de Engenharia de Minas apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Engenharia de Minas.

PLANIFICAÇÃO A LONGO PRAZO E DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE NUMA MINA A CÉU ABERTO.

CASO DE ESTUDO: PROJECTO MINEIRO DE LUXINENE

Autor: Milton Rodrigo Massango Sassova

Nº do estudante: 124857

LUANDA, 2024

UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

PLANIFICAÇÃO A LONGO PRAZO E DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE NUMA MINA A CÉU ABERTO.

Autor: Milton Rodrigo Massango Sassova

Nº do estudante: 124857

Trabalho de Fim de Curso de Engenharia de Minas apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Engenharia de Minas

Orientado pelo Professor Mestre: Mboko Kasongo A. Domingos

LUANDA, 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amáveis pais, irmãos e noiva pelo incondicional apoio, incentivo e suporte.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela vida e pelo constante suporte que tem dado a mim e a minha família em geral.

Em especial e com muito amor, aos meus pais, que sempre me apoiram e estiveram comigo durante essa trajectória. Aos meus queridos irmãos, em especial a **Sandra F. Sassova**, por sempre me incentivarem, apoiarem, mostrarem o caminho certo e por terem sido prestativos nos momentos mas tenebrosos da minha vida.

Aos meus incríveis colegas, amigos, pelo suporte e companherismo ao longo desta caminhada ou jornada.

Ao meu orientador, Engenheiro e Mestre **Mboko K. A Domingos** pela inigualável orientação e confiança em mim depositada para encarar este desafio. Em geral, agradeço a todos que não mediram esforço em ajudar-me.

RESUMO

A escolha e dimensionamento da frota de equipamento de carregamento e transporte (camiões), para atender a produção de massa mineira, traz cada vez mais desafios a serem ultrapassados pela entidade gestora da cooperativa mineira, de modo a apresentar melhores resultados operacionais (de produção) e económicos. O presente trabalho de final de curso tem como principal objectivo apresentar os parâmetros de planeamento a longo prazo e dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto, a fim de determinar a escala de produção, escolher a frota de equipamentos de carregamento e transporte necessários para carregar e transportar a massa mineira requerida, de modo que os resultados técnicos e económicos da empresa sejam os melhores possíveis. Para a elaboração deste trabalho utilizou-se o método dedutivo e abordagem quali-quantitativa, a metodologia aplicada baseou-se em pesquisa bibliográfica, artigos e estudos científicos relacionados com a planificação mineira a longo prazo e igualmente aos equipamentos de carregamento e transporte de massa mineira em minas a céu, também utilizou-se os dados e relatórios fornecidos pela Cooperativa Mineira de Exploração Semi-industrial de Diamante (Luxinene), para a obtenção de dados importantes para a realização deste trabalho. O trabalho científico permitiu encontrar a frota de equipamento adequado (carregamento e transporte), que adaptam-se melhor as características da mina, trazendo resultados mais viáveis (redução dos custos operacionais e maior produção da mina), dando resposta as questões de optimização da produção mineira e redução dos custos operacionais, no que diz respeito a implementação de escavadoras e camiões de maiores capacidades que aumentam a produção planeada em cada bloco durante a vida útil da mina.

PALAVRAS-CHAVES: Planeamento Mineiro. Escala de Produção. Dimensionamento da Frota.

ABSTRACT

The choice and sizing of the fleet of loading and transport equipment (trucks), to meet the production of mining mass, brings more and more challenges to be overcome by the managing entity of the mining cooperative, in order to present better operational (production) results. and economic. The main objective of this final course work is to present the parameters of long-term planning and sizing of loading and transport fleets in an open pit mine, in order to determine the production scale, choose the fleet of loading equipment and transport necessary to load and transport the required mining mass, so that the company's technical and economic results are the best possible. To prepare this work, the deductive method and the qualitative-quantitative approach were used. The methodology applied was based on bibliographical research, articles and scientific studies related to long-term mining planning and also to mining equipment for loading and transporting mass. In sky mines, data and reports provided by the Mining Cooperative of Exploration Semi-industrial de Diamante (Luxinene) were also used to obtain important data for carrying out this work. The scientific work made it possible to find the appropriate fleet of equipment (loading and transport), which better adapts to the characteristics of the mine, bringing more viable results (reduction in operating costs and greater production from the mine), answering the questions of optimizing the mining production and reduction of operational costs, with regard to the implementation of excavators and trucks with greater capacities that increase the planned production in each block during the useful life of the mine.

KEYWORDS: Mining Planning. Production Scale. Fleet Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Ciclo de operações da mina a céu aberto. 13
Figura 2. 2 - Relação de compatibilidade entre máquinas, baseada nos números de passes recomendados para encher um determinado camião compatível. 23
Figura 4. 1 - Localização geográfica da cooperativa mineira semi-industrial de diamante em Angola. 29
Figura 4. 2 - Vias de acesso para a região do Nzagi pelo estrada nacional EN-225. 30
Figura 4. 3 - Vegetação da área de estudo. 31
Figura 4. 4 - Rio Luembe. 32
Figura 4. 5 - Modelo estratigráfico dos depósitos diamantífero da cooperativa mineira de Luxinene. 33
Figura 4. 6 - Sanjas (A) e poço feito por uma sonda de perfuração à trado mecânico (B). 34
Figura 4. 7 - Bulldozer (A), escavadora (B) e camião basculante (C). 35
Figura 4. 8 - Pequena lavaria de prospecção para processar as amostras das sondagens. ... 36
Figura 4. 9 - Levantamento das coordenadas geográficas, utilizando GPS de alta precisão. 37
Figura 4. 10 - Mapa de delimitação da cooperativa mineira de Luxinene. 37
Figura 4. 11 - Mapa dos blocos localizados E georreferenciados. 38
Figura 4. 12 - Os equipamentos de remoção e extracção de minério (A e B). 46
Figura 4. 13 - Remoção de estéril nos blocos de terraço. 47
Figura 4. 14 - Limpeza da rocha base para a extração de mineiro num bloco de terraço. .. 48
Figura 4. 15 - Transporte (A) e depósito do minério no stockpile (B). 49
Figura 4. 16 - Unidades de pré-tratamento e recuperação de diamantes. (A) de meio denso e (B) com máquina de Flow Sort. 50
Figura 4. 17 - Unidades de pré-tratamento e recuperação de diamantes. 50
Figura 4. 18 - Geradores e seus equipamentos auxiliares. 51
Figura 4. 19 - Tanque de combustível. 51
Figura 4. 20 - Preparação de via de acesso para um bloco, utilizando Bulldozer. 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 – Factor de Enchimento. 20
Tabela 4. 1 - Coordenadas geográficas da cooperativa mineira de Luxinene. 29
Tabela 4. 2 - Volume de massa mineira. 39
Tabela 4. 3 – Quiláteres produzidos na cooperativa até 2022. 39
Tabela 4. 4 - Espessuras (E) das camadas de cascalho e o teor (t) dos bolos do jazigo da cooperativa..... 40
Tabela 4. 5 - REM dos volumes movimentados..... 40
Tabela 4. 6 - Duração e rítmo de produção da mina..... 41
Tabela 4. 7 - Classificação da mina em função do porte. 42
Tabela 4. 8 - Parâmetros do planeamento mineiro. 42
Tabela 4. 9 - Parâmetros que auxiliam na viabilidade do projecto..... 43
Tabela 4. 10 - Equipamentos utilizados nas fases de prospecção-exploração..... 45
Tabela 4. 11 - Indicadores de produtividade dos equipamentos de carga. 53
Tabela 4. 12 - Produção anual de minério das unidades de carregamento. 54
Tabela 4. 13 - Produção anual de estéril das unidades de carregamento..... 55
Tabela 4. 14 - Características dos camiões usados para o transporte de minério..... 56
Tabela 4. 15 - Tempo de ciclo dos camiões usados para o transporte de minério. 57
Tabela 4. 16 - Produtividade teórica dos camiões escolhidos para fazer o transporte de minério..... 58
Tabela 4. 17 – Características do camião CAT 740, para o transporte de estéril..... 59
Tabela 4. 18 - Tempo de ciclo do camião Cat 740, para o transporte de estéril..... 59
Tabela 4. 19 - Produtividade teórica do camião escolhido para fazer o transporte de estéril. 60
Tabela 4. 20 - Frota que poderia ser dimensionado na mina. 63
Tabela 4. 21 - Números de passes por ciclo entre as escavadoras e os camiões. 64
Tabela 4. 22 - Número de ciclo por hora dos equipamentos (escavadoras e camiões). 65
Tabela 4. 23 - Índices a considerar na construção das estradas. 66
Tabela 4. 24 - Capital humano da mina. 68
Tabela 5. 1 - REM para definir os volumes movimentados nos blocos. 71
Tabela 5. 2 - Estimativa da produção de minério das escavadoras usadas no projecto durante 8 anos. 72
Tabela 5. 3 - Estimativa da produção de estéril das escavadoras usadas no projecto durante 8 anos. 73
Tabela 5. 4 - Comparação entre as escavadoras. 74
Tabela 5. 5 - Produtividade dos equipamentos que operam na mina. 75
Tabela 5. 6 - Produtividade teórica dos 6 camiões Cat 740 escolhidos para transporte da massa de estéril. 76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4. 1 - Tempo médio de ciclo dos equipamentos de transporte de minério na cooperativa de Luxinene. 57
Gráfico 4. 2 - Tempo médio de ciclo do camião Cat 740. 60
Gráfico 4. 3 - Análise de compatibilidade entre os equipamentos. 64
Gráfico 5. 1 - Análise da relação estéril/minério dos blocos. 71
Gráfico 5. 2 - Análise percentual das escavadoras que operam na cooperativa, durante os 8 anos. 72
Gráfico 5. 3 - Análise percentual das escavadoras que operam na cooperativa, durante os 8 anos. 73
Gráfico 5. 4 - Ilustração gráfica da comparação entre as escavadoras. 74
Gráfico 5. 5 - Análise percentual dos camiões que transportam minério na cooperativa, durante os 8 anos. 75

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CD – Custos Directos

C_{ef} – Ciclo efectivo da carregadeira

CI – Custos Indirectos

CML – Cooperativa Mineira de Luxinene

DF - Disponibilidade Física dos equipamentos

HTP – Horais Totais Programadas

N_{equip} – Número de Equipamentos na Frota

P – Produção de frota

P_a – Produção Anual

PR – Produtividade efectiva dos equipamentos

$P_{n/h}$ – Produção necessária por hora

Qt - Quiláteres

Q_u – Carga útil necessária

R – Renda

RE – Resultado Económico

REM – Relação Estéril Minério

RE^- – Resultado Económico Negativo (prejuízo)

RE^+ – Resultado Económico Positivo (Lucro)

ROM – Run of Mine

T_c – Tamanho nominal do balde/concha

UT – Factor de Utilização dos equipamentos

V_c – Volume da carga útil necessária do balde/concha

Ve – Volume de Estéril

VEB – Valor Económico do Bloco

Vm – Volume de Minério

VPL – Valor Presente Líquido

ρ – Densidade do material solto

ÍNDICE

DEDICATÓRIA III
AGRADECIMENTOS IV
RESUMO V
ABSTRACT VI
LISTA DE FIGURAS VII
LISTA DE TABELAS VIII
LISTA DE GRÁFICOS IX
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS X
CAPÍTULO I – GENERALIDADES 1
1.1. INTRODUÇÃO 1
1.2. Problema 2
1.3. Hipóteses 3
1.4. Justificativa 3
1.5. Objectivos do Trabalho 5
1.6. Delimitação do Estudo 5
1.7. Limitação do Trabalho 5
CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 6
2.1. LAVRA A CÉU ABERTO 6
2.2. PLANEAMENTO MINEIRO 6
2.2.1. Tipos de Planeamento Mineiro 7
2.2.2. Planeamento Mineiro a Longo Prazo e Optimização da Exploração 8
2.2.3. Factores que Influenciam no Planeamento Mineiro 9
2.2.4. Importância dos Softwares durante o Planeamento a Longo Prazo 10
2.3. IMPORTÂNCIA DO VALOR ECONÓMICO DOS BLOCOS NA PLANIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE LAVRA 10
2.3.1. Premissas para Determinar o Valor Económico de um Bloco 10
2.3.2. Sequenciamento da Lavra 11
2.4. OPERAÇÕES MINEIRAS 12
2.4.1. Ciclo de Produção 12
2.5. CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DA FROTA DE EQUIPAMENTOS 13
2.6. DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE EQUIPAMENTOS MINEIROS DE CARREGAMENTOS E TRANSPORTE 15
2.7. DISPONIBILIDADE E UTILIZAÇÃO MECÂNICA DAS FROTAS DE EQUIPAMENTOS 15
2.7.1. Disponibilidade Mecânica 15
2.7.2. Disponibilidade Física 16
2.7.3. Factor de Paralisações técnicas 16
2.7.3.1. Manutenção da Frota de Equipamento 16
2.7.4. Factor de Paralisações não técnicas 17
2.7.5. Factor de Utilização da Frota de Equipamentos 17
2.7.6. Rendimento Operacional do Equipamento 18

2.8. INDICADORES DE PRODUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS 18
2.8.1. Estimativa da Produtividade dos Equipamentos de Carregamento 19
2.8.1.1. Factor de Enchimento do Balde 19
2.8.1.2. Factor de Empolamento 20
2.8.1.3. Tempo de Ciclo da Carregadeira 21
2.8.2. Estimativa da Produtividade dos Equipamentos de Transporte 21
2.8.2.1. Tempo de Ciclo do Camião 22
2.8.3. Compatibilização entre os Equipamentos de Carregamento e Transporte 22
2.9. CUSTOS OPERACIONAIS DA MINA 23
2.10. PLANIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DA MINA SEGUNDO TAYLOR 25
CAPÍTULO III – METODOLOGIA 26
3.1. METODOLOGIA DE PESQUISA 26
3.2. RECOLHA DE DADOS 27
CAPÍTULO IV – ESTUDO DE CASO 28
4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROJECTO MINEIRO 28
4.1.1. Breve Historial da Projecto Mineiro 28
4.1.2. Localização geográfica e Vias de Acesso 28
4.2. GEOMORFOLOGIA E HIDROGRAFIA DA REGIÃO 31
4.2.1. Clima 31
4.2.2. Fauna e Flora 31
4.2.3. Hidrografia 32
4.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO E DO LOCAL 32
4.3.1. Geologia regional 32
4.3.2. Geologia local 33
4.4. PESQUISA GEOLÓGICA 34
4.4.1. Determinação dos Blocos Mineiros Georreferenciado 36
4.4.2. Reservas Prováveis e Provadas 38
4.4.3. Teor Médio do Jazigo 39
4.5. RELAÇÃO ESTÉRIL/MINÉRIO 40
4.6. PLANO DE PRODUÇÃO A LONGO PRAZO 41
4.6.1. Planificação da Produção Mineira 43
4.6.2. Produtividade Horária Requerida Para Atingir a Produção 43
4.7. OPERAÇÕES MINEIRAS 45
4.7.1. Equipamentos Utilizados 45
4.7.2. Funções dos Equipamentos Utilizados 46
4.7.3. Remoção Do Estéril 47
4.7.4. Extracção De Minério e Limpeza Da Rocha Base 47
4.7.5. Carregamento e Transporte de Minério 49
4.8. CENTRAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIO 49
4.9. PRODUTIVIDADE DOS EQUIPAMENTOS DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE PARA ATENDER A CAPACIDADE DAS UNIDADES DE TRATAMENTO 52

4.9.1. Produtividade dos Equipamentos de Carregamento (escavadoras) de Massa Mineira.....52
4.9.2. Produtividade dos Equipamentos de Transporte (camiões) de Massa Mineira 56
4.9.3. Determinação das Unidades dos Equipamentos para Operar na Cooperativa 63
4.9.4. Análise da Compatibilidade entre as Escavadoras e os Camiões 63
4.10. ESTRADAS DE RODAGEM DA MINA 66
4.11. PREPARAÇÃO DOS BLOCOS PARA EXPLORAÇÃO E DRENAGEM DAS ÁGUAS 67
4.12. RECURSOS HUMANOS..... 68
4.13. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E PROTECÇÃO AMBIENTAL..... 69
CAPÍTULO V – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS 71
5.1. ANÁLISE DOS FACTORES DETERMINANTES NA PLANIFICAÇÃO 71
5.1.1. Relação Estéril/Minério 71
5.2. ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DOS EQUIPAMENTOS DURANTE A VIDA ÚTIL DA MINA..... 72
5.2.1. Análise da Produtividade das Escavadoras que Operam na Cooperativa 72
5.2.2. Análise da Produtividade dos Camiões que Operam na Cooperativa..... 75
5.3. ANÁLISE COMPARATIVA DA FROTA DE TRANSPORTE À UMA DISTÂNCIA MÁXIMA DE 600 METROS. 76
CONCLUSÕES 77
RECOMENDAÇÕES..... 78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79
ANEXOS 81

CAPÍTULO I – GENERALIDADES

1.1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma actividade alavancadora do desenvolvimento de muitos paises, desde então tem contribuído significativamente no desenvolvimento económico e industrial, fornecendo matérias primas para os diversos sectores da economia. Tem por objectivo econômico básico maximizar a sua riqueza futura, visando o aproveitamento econômico de um bem de capital exaurível e não renovável, o que a diferencia das demais indústrias.

Depois de encontrar, caracterizar e aprovar um recurso mineral em uma reserva mineral, segue-se a etapa de planeamento de lavra que visa definir o limite da cava final e elaborar o melhor sequenciamento de produção da mina, respeitando a relação estéril-minério (REM), de forma a produzir com qualidade e quantidade, e gerar maior lucro durante a vida útil da mina.

Etimologicamente o termo Planificar ou Planear é oriunda do latim *planus* que significa "orientar, organizar acções presentes e futuras, visando atingir um objectivo, reduzindo as incertezas inerentes ao futuro, possibilitando a tomada de decisões de forma antecipada sobre situações que poderão ocorrer".

Planificar uma mina, significa programar, cronometrar ou agendar um conjunto de actividades para o alcance da produção no tempo e no espaço, em qualidade e quantidade, utilizando eficaz e eficientemente os meios disponíveis para produzir. Esta etapa, antecede a fase de exploração do depósito mineral.

Ao planificar uma mina considera-se relevantes os enfoques de planeamento, de dimensionamento e os parâmetros que impulsionam a utilização adequada das frotas de equipamentos para o alcance da produtividade operacional da mina. A planificação a longo prazo é alcançada quando é ramificada a produção mineira semanalmente, mensalmente e anualmente, porém estes planos devem ser criados sem causar alterações bruscas ao plano de produção a longo prazo e sem causar significativas perdas financeiras, passivos financeiros futuros e recuperação tardia de recursos.

O dimensionamento de frotas de carregamento e transporte numa mina, refere-se na escolha de frotas de equipamentos e a combinação dos mesmos para atender a produtividade do projecto no tempo planeado.

Deste modo, o presente trabalho de investigação tem como tema: Planificação a longo prazo e dimensionamento de frotas de carregamento e transporte numa mina a céu aberto.

O trabalho está organizado em 5 capítulos, na qual estão redigidos da seguinte maneira:

Capítulo I – Generalidades – Serão apresentados a introdução, problema, hipóteses, justificativa, objectivos, delimitação e limitação de estudo.

Capítulo II – Fundamentação teórica – Onde serão apresentadas as bases teóricas para a realização desta investigação.

Capítulo III – Metodologias – Foram apresentados os métodos e técnicas necessárias para a realização deste trabalho.

Capítulo IV – Estudo de Caso – Redigiram-se as características gerais da região (mina em estudo), nomeadamente a localização geográfica, relevo, fauna, flora, hidrografia, vias de acesso e do seu jazigo, tendo como foco o planeamento a longo prazo e dimensionamento de frotas de carregamento e transporte.

Capítulo V – Análise e Interpretação dos Resultados – Foram analisados os dados de produção dos equipamentos que operam na cooperativa e os dados dos equipamentos recomendados à cooperativa para aumentar a produção.

1.2. Problema

A complexidade no planeamento a longo prazo e dimensionamento das frotas de carregamento e transporte na Cooperativa de Luxinene, tem causado muitos impactos negativos na produtividade operacional do projecto, ocasionando a rotura na produção de minério de qualidade e quantidade para satisfazer a demanda, que consequentemente pode causar o esgotamento prematura da mina devido a remoção de quantidade de estéril e de minério mal planeada.

Daí surge a seguinte pergunta: Como dimensionar a frota de carregamento e transporte que garante a produção a longo prazo da massa mineira?

1.3. Hipóteses

A. **Hipótese:** Se for considerado a dimensão do jazigo, então será possível criar um plano adequado a longo prazo para a exploração racional do jazigo.
B. **Hipótese:** Se for feito um estudo minucioso dos equipamentos de carregamento e transporte durante a fase de planeamento, então será possível a escolha e compatibilidade adequada destes equipamentos para ao alcance da produção planeada.
C. **Hipótese:** Se for determinado o rítmo de produção anual, os factores de gestão da frota de equipamentos (disponibilidade e utilização), e os parâmetros da mina (peso específico do minério, distância do ponto de carregamento ao ponto de descarga, etc), então será possível dimensionar os equipamentos correctamente e obter a produção previamente estabelecida na planificação.

1.4. Justificativa

A concessão Mineira de Luxinene, encontra-se numa área já explorada pelo Projecto mineiro de Chitotolo, que desanexou devido à pouca viabilidade e cedeu-a para a exploração artesanal (garimpeiros), pós mesmo havendo reservas, essas não eram suficientemente viáveis para justificar tal investimento, segundo o julgamento da então direcção do projecto de chitotolo.

Todavia, com o surgimento do programa de diversificação da indústria mineira, a área antes explorada por garimpeiros foi concedida aos investidores actuais do projecto, que depois de um estudo minucioso de prospecção, verificaram que haviam mais reservas que se porventura forem explorados, justificarão o capital investido. Portanto, os trabalhos de prospecção continuam e mais reservas têm sido descobertas além das que já foram classificadas como aprovadas (8 blocos), e os resultados são tão satisfatórios que permitem estimar mais 2 ou 3 anos da vida actual útil da mina. Com esses resultados a produção da massa mineira aumentará, para atender a produção da massa mineira é necessário optimizar as operações de carregamento e transporte, por isso fazer-se-à o dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte que proporciona maior rentalidade ao projecto durante este período.

O Ministério dos Recursos Mineirais, Petróleo e Gás, vem exigindo a todas as cooperativas mineiras de exploração de diamante que doravante devem proceder com a planificação da produção e das operações de forma clássica, com propósito de alcançar a maior rentalidade destes projectos.

A implementação de uma adequada escala de produção e o dimensionamento das frotas de carregamento e transporte minimizará os custos e aumentará as receitas, resultado de um plano adequado, que permite a ocorrência da harmonização das operações de carregamento e transporte em pouco tempo de execução, com menor desperdício, com maior produtividade e com menores custos. Todavia, a capacidade em planificar a produção da massa mineira e dimensionar os equipamentos influencia directamente na extração das reservas ou blocos, para atender as questões de movimentação de material rochoso, estoque e armazenamento de minério de qualidade e quantidade requerida.

Dessa forma, o presente trabalho de fim de curso, foi realizado na necessidade de atender a escala de produção ao longo da vida útil da mina. No entanto, fez-se o estudo pormenorizado dos parâmetros que integram o planeamento mineiro e que influenciam no dimensionamento de frotas da mina, para saber quais são as escavadoras e camiões que apresentam as capacidades e compatibilidades adequadas para viabilizar o projecto. Então, justifica-se que para dimensionar os equipamentos deve-se determinar o rítmo ou escala de produção anual, saber o cronograma da sequência de produção, da mesma forma o dimensionamento de frotas de carregamento e transporte na mina torna-se essencial para atingir a produção satisfatória atendendo os requisitos de qualidade e de quantidade do produto.

1.5. Objectivos do Trabalho

A. Objecto de Estudo

Sistema de carregamento e transporte da mina de Luxinene.

B. Objectivo Geral

Analisar os parâmetros importantes que integram o planeamento a longo prazo e dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto, considerando as informações operacionais, produtividade planeada e mitigação dos custos.

C. Objectivos Específicos

- Descrever o planeamento mineiro e sua importância na exploração de um jazigo;
- Avaliar a selecção (produtividade e compatibilidade) das frotas de equipamentos de carregamento e transporte;
- Determinar o dimensionamento da frota de carregamento e transporte que melhora a produtividade da empresa.

1.6. Delimitação do Estudo

Este trabalho de pesquisa delimitou-se em determinar a escala de produção dos blocos actualmente conhecidos, dimensionar os equipamentos para atender a produção na Cooperativa Semi-Industrial de Luxinene.

1.7. Limitação do Trabalho

Na obtenção dos dados, o que impossibilitou a criação de uma planificação mais detalhada e o estudo sucinto de viabilidade económica e financeira, devido as questões de confidencialidade e divulgação da mina.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. LAVRA A CÉU ABERTO

Em conformidade com Couto (1990) apud Racia (2016), lavra a céu aberto é aquela em que as operações unitárias são desenvolvidas ao ar livre e aplicadas a depósitos superficiais.

Segundo De Carli (2013) apud Melo (2020), baseando-se na disposição do jazigo, a lavra a céu aberto pode ser aplicado de diferentes formas, o que permite a sua classificação em três:

1. **Lavra por bancadas *(open pit mining)***, forma uma espécie de cone invertido, as bancadas são desenvolvidas consecutivamente de cima para baixo. As bancadas são formadas por taludes, com tamanhos calculados de acordo com a proporção de minério e estéril.
2. **Lavra em tiras (*strip mining*)**, é utilizado em corpos minerais de forma acamadada ou tabular, que se encontram dispostos horizontalmente ou sub-horizontalmente de modo que a remoção do solo superficial e da cobertura expõe o minério. O minério é retirado em tiras paralelas e adjacentes, permitindo a fácil recuperação do local lavrado.
3. **Lavra aluvionar (*placer mining*)**, é utilizado aos corpos minerais que resultam da meteorização física e química dos depósitos primários (kimberlitos), podem ser Colina, Terraço, Lezíria e Leito do rio.

2.2. PLANEAMENTO MINEIRO

Geralmente, a ferramenta utilizada para a tomada de decisões em uma empresa que pretende evoluir em um mercado concorrente e competitivo, denomina-se Planeamento.

De acordo o Código Mineiro de Angola (2011), plano de exploração, é um documento que contempla a execução das operações mineiras, contendo a descrição dos métodos, tecnologia e das instalações, a programação das operações e da produção, as actividades incluídas no estudo de impacto ambiental, a segurança industrial, assim como o cálculo dos custos e a previsão dos resultados económicos.

Segundo Capponi (2012), a exploração racional de minerais depende directamente da capacidade em delinear, compreender, avaliar e planear a melhor forma de extrair os recursos

minerais existente no depósito, de modo a evitar lavra ambiciosa, caducidade prematura da mina e em certos casos as roturas na produção.

2.2.1. Tipos de Planeamento Mineiro

De acordo HERBERT et al URBINA (2002), o planeamento é geralmente subdividido com base em três critérios essenciais:

1. **Critério Tempo,** refere-se ao tempo de realização do plano, em curto, médio e longo prazo;
2. **Critério Espaço**, refere-se ao espaço de execução, pode ser áreas, níveis, secções, zonas geográficas, etc.
3. **Critérios comerciais**, ditam o valor comercial do minério com base a sua qualidade, quantidade, densidade, teor, produtos primários e secundários, etc.

De acordo Curi (2014), apud Ximenes (2018), com o avanço da lavra, surgem novas informações sobre a reserva devido a confiabilidade das informações acerca da heterogeniedade do jazigo, ocasionando constantes readaptações ao plano original. Deste modo os planos de mineração, respeitam um período de tempo necessário permitindo a sua classificação em:

a) **Plano de longo prazo:** envolve estudos de sequenciamento de lavra, disposição controlada de estéril, relação estéril/minério, desenvolvimento de novos produtos e trabalhos de geologia de pesquisa. Em geral, este plano é superior à 5 anos, claro dependendo da natureza do projecto pode variar.

b) **Plano de médio prazo:** garante a continuidade do processo de lavra através da escolha de um caminho, objectivando a estacionarização dos parâmetros técnicos e econômicos envolvidos no dia à dia das operações da lavra (Ibram, 1996 citado por Chimuco, 2010). Em geral, este plano varia de 3 anos à 5 anos.

c) **Plano de curto prazo:** refere-se a programação das pilhas de ROM para atingir as metas de especificações do produto lavrado de qualidade requeridas pela unidade de tratamento, programação da disposição de estéril no dia à dia, controle de qualidade de produtos, controle de pilhas de ROM, actualização topográfica da mina, estudos de acessos temporários, estudos estatísticos da qualidade da produção, amostragem periódica da lavra, quantificação de estoques no final de cada mês e outras actividades que visam o cumprimento dos planos de lavra já mencionados. Neste plano determina-se quais as frentes ou blocos serão lavradas e qual massa será

lavrada em cada uma das frentes ou blocos. Em geral o plano de curto prazo pode ser semanal, quinzenal, mensal, trimestral, anual e até mesmo 3 anos, portanto este tempo depende da natureza do projecto.

2.2.2. Planeamento Mineiro a Longo Prazo e Optimização da Exploração

Segundo o Chimuco (2010), o planeamento de lavra a longo prazo garante a maximização da vida útil de uma mina, reduz os custos de produção, atende as metas de REM e as especificações de qualidade do minério. Desta maneira, permite antecipar a ocorrência de problemas de forma a evitá-los no futuro ou minimizar suas consequências, normalmente realiza-se num período superior a 5 anos.

Conforme Confea (2005), citado por Lemos (2009), para atender o plano de longo prazo, implementa-se actividade árdua de fiscalização e controle sob o processo produtivo visando garantir a obediência das normas e padrões previamente estabelecidos na planificação, denominando-se Controlo de qualidade.

A optimização operacional de uma mina a céu aberto permite a melhoria da sequência de produção, por meio da implementação de novas tecnologias e novas formas de extrair a substância útil com o menor custo possível, permitindo a maximização do valor económico (receitas).

A cava óptima é o volume de material viável economicamente de ser extraído e que proporciona o maior lucro possível ao empreendimento mineiro (Campos, 2017 apud Ximenes, 2018).

2.2.3. Factores que Influenciam no Planeamento Mineiro

Segundo Peroni (2002) e Alfredo (2015), se porventura estes factores forem incorrectamente estudados e analisados, podem comprometer a viabilidade do projecto mineiro e passam a constituir-se riscos ao projecto:

1. **Factores Geológicos (**cálculo errado da vida útil da mina, informações erradas do teor e superestimação da tonelagem por ano**);**
2. **Factores Financeiros (**projecção inadequada de preços do minério no mercado e custos operacionais**);**
3. **Factores Metalúrgicos (**recuperação inadequada, quando as informações mineralógicas são incorrectas desencadeando péssima recuperação metalúrgica do mineral útil**);**
4. **Factores Geomecânicos (**inadaquado controlo do maciço, pode criar custos operações de desmonte e grandes acidentes no carregamento e transporte do material**);**
5. **Factores de Engenharia (**falhas e ineficiências dos equipamentos, para evitar isto põe-se em prática os planos de manutenção preventivas e correctivas dos equipamentos**);**
6. **Factores Ambientais (**incumprimento dos regulamentos e premissas estabelecidas pelos orgãos fiscalizadores e quando não se faz um estudo minucioso do impacto da operacionalização da mina no ambiente**);**
7. **Factores Sócio-político (**quando não se considera as restrições políticas à lavra**);**
8. **Factores Administrativo e de gestão (**perda de controlo, de monitoramento das operações e perda do alcance da produção**).**

No entanto, estes factores influenciam na quantidade e qualidade do minério lavrado, bem como na sequência de lavra, refletindo-se na produção, no retorno do valor investido e consequentemente na maximização dos lucros do empreendimento. Para evitar tais riscos, “os planos de lavra mudam-se frequentemente no tempo, reflectidos pelos efeitos de mudanças económicas, devido ao aumento do conhecimento do corpo de minério e da tecnologia de mineração implementada, Fonseca (2022)”.

2.2.4. Importância dos Softwares durante o Planeamento a Longo Prazo

De acordo Silva (2014), apud Ximenes (2018), os *softwares* são utilizados diariamente nos projectos mineiros para solucionar problemas na mina e se tornaram ferramentas muito importante durante o planeamento e gestão de controle operacional, como por exemplo, o *Smartmine* e *Wenco*, no processo de decisão de dimensionamento, para o cálculo da capacidade dos baldes das escavadoras, do número dos equipamentos de carregamento e de transporte, entre outras.

Kapageridis (2005), citado por Amaral (2008), no planeamento mineiro, os *softwares* auxiliam na visualização tridimensional da mina, na construção do modelo de blocos, no gerenciamento de bancos de dados geológicos e no históricos de produção, na estimativa da reserva, no projecto de cava final óptima e no sequenciamento da produção.

2.3. IMPORTÂNCIA DO VALOR ECONÓMICO DOS BLOCOS NA PLANIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE LAVRA

A cada bloco é atribuído um valor em função de suas características geológicas, geomecânicas, económicas e dos aspectos relacionados ao tratamento do mineral.

Segundo Carmo & Curi (2001), o valor económico do bloco pode ser definido considerando os parâmetros de teor do minério, preço do minério, optimização do jazigo, custos de tratamento e custos das operações unitárias.

2.3.1. Premissas para Determinar o Valor Económico de um Bloco

Respeitando os parâmetros já menciondos por Carmo & Curi (2001), o valor económico do bloco é determinado quando se analisa as premissas ligadas a este bloco:

a) **Renda (**R**):** valor da parte recuperável e vendável do bloco.
b) **Custos Directos (**CD**):** custos atribuídos directamente ao bloco, como por exemplo, custos de perfuração, desmonte, carregamento e transporte, etc.
c) **Custos Indirectos (**CI**):** custos que não são atribuídos directamente aos blocos individuais, por exemplo, os salários, a depreciação dos equipamentos, etc.

A partir dos conceitos supramencionados, o valor económico de um bloco (VEB) pode ser calculado segundo a equação 1.1.

$$\mathrm{VEB} = \mathrm{R} - \mathrm{CD} \qquad \textit{Equação (1.1).}$$

Todavia, é importante realçar que o valor económico do bloco não é o mesmo que o resultado económico (RE) do projecto que pode ser lucro (RE^{+}) ou prejuízo (RE^{-}), expressa pela equação 1.2.

$$\mathrm{RE} = \sum(\mathrm{VEB}) - \mathrm{CI} \qquad \textit{Equação (1.2).}$$

Os blocos de estéril normalmente têm VEB negativos, porque a renda do estéril na maioria dos casos é zero. Os blocos de minério ou blocos que contêm ambos minério e estéril (blocos misturados) têm VEB superior a zero, dependendo da quantidade e qualidade de minério contida neles.

2.3.2. Sequenciamento da Lavra

De acordo Ascarza et al, (2008) apud Chimuco (2010), após a elaboração dos objectivos durante o planeamento, surge a organização do sequenciamento de lavra que consiste em desenvolver programas, calendários de produção que definem uma sequência de lavra do recurso mineral, decidindo-se como, quando e onde serão lavradas as reservas contidas no jazigo, utilizando eficaz e eficientemente os recursos disponíveis da empresa e respeitando as restrições físicas, operacionais, ambientais e de segurança do projecto que permita alcançar os objectivos previamente determinados.

Consoante Peroni (2002), do ponto de vista tecnológico a sequência óptima da lavra está directamente relacionado com dois aspectos, espaço e tempo, isto é, de produção relativamente a quantidade e qualidade do minério extraído e o sequenciamento de extração.

2.4. OPERAÇÕES MINEIRAS

De acordo o Código Mineiro de Angola (2011), define-se operações mineiras os trabalhos realizados no âmbito de uma licença de exploração e que consistem na preparação e a extracção, o carregamento e transporte dentro da mina do minério bruto, bem como o seu tratamento e beneficiação.

Segundo Melo (2020), boas práticas operacionais impactam directamente na produtividade dos equipamentos consequentemente da mina, constata-se que o aumento da produtividade depende de uma boa condição operacional. Nesta conformidade, o ciclo de operações mineiras de lavra convencionais, é constituído por quatro operações unitárias:

1) **Operação de Desmonte**, consiste no trabalho de fragmentação ou descompactação mecânica ou com explosivos da rocha *in situ* dependendo da sua característica (coesão). Esta operação influencia no rendimento e produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte devido os paramêtros de empolamento.
2) **Operação de Carregamento**, consiste no carregamento dos equipamentos de transporte com rocha fragmentada, é feita pelas escavadoras, retroescavadoras.
3) **Operação de Transporte**, consiste na movimentação de estéril ou minério de um ponto para o outro por meio de dois sistemas comuns de transporte, destacando o sistema de transporte contínuo (exemplo correias transportadoras, etc) e o sistema de transporte descontínuo (exemplo camiões, etc).
4) **Operação de Descarga**, consiste no descarregamento do material rochoso transportado de um local para o outro, este descarregamento é comumente feito nas britadeiras primárias, stock pile e na escombreira.

2.4.1. Ciclo de Produção

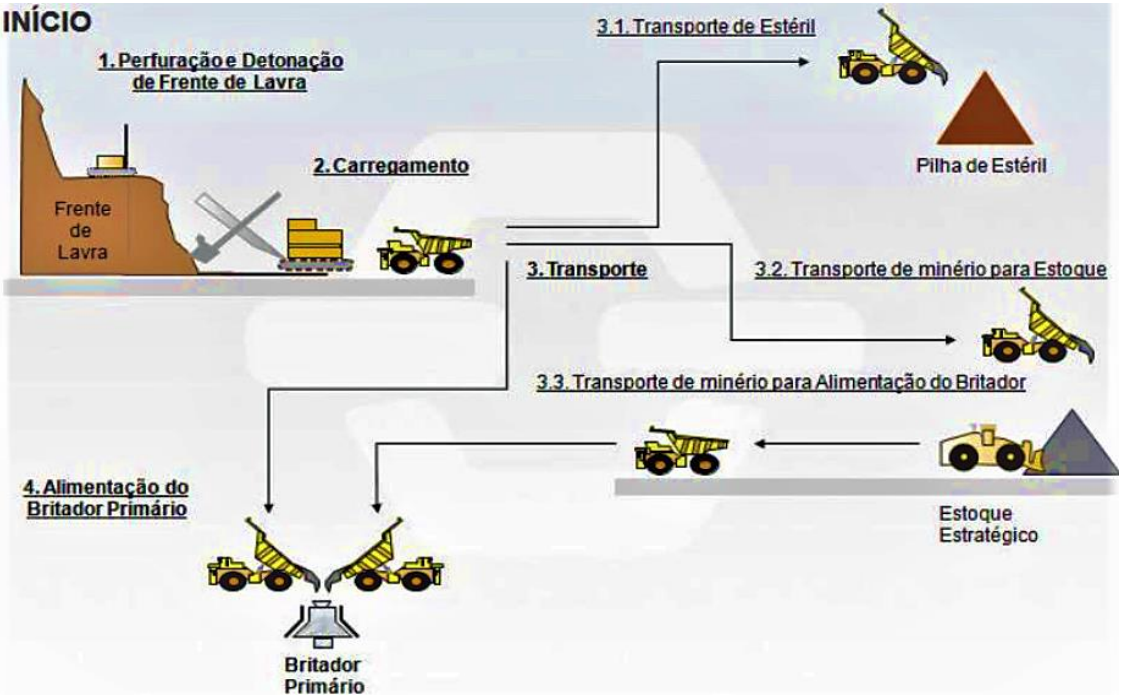
O conjunto de operações que um equipamento realiza em um intervalo de tempo, voltando em seguida, à posição inicial para recomeça-los, denomina-se Ciclo de Operações.

O ciclo de produção é feita de forma sequencial, iniciando com a preparação da frente a ser lavrada para que ela possa ser desmontada. Após a primeira operação, o equipamento de carregamento é deslocado para frente de lavra para iniciar o processo de carregamento dos camiões. Os camiões carregados transportam o material até determinados pontos de

descarga e em seguida são alocados para uma frente de lavra disponível, onde o ciclo operacional é reiniciado, conforme ilustra a

Figura 2. 1.

Figura 2. 1 - Ciclo de operações da mina a céu aberto.



Fonte: Felsh Junior (2014) citado por Lacerda (2019).

2.5. CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DA FROTA DE EQUIPAMENTOS

A seleção dos equipamentos é um dos factores de grande importância para o desenvolvimento da mina e de sua produção, uma vez que são utilizados em diversas etapas de produção. Para selecionar os esquipamentos determinar-se primeiramente o ritmo de produção da mina e a estimativa de produtividade destes equipamentos.

Todavia, a correcta seleção da frota deve garantir a maior produtividade e menor custo de produção. Deste modo, segundo HERBERT et al URBINA (2002), uma série de critérios básicos e específicos são analizados para selecionar a frota de equipamentos:

❖ **Critérios Básicos**

- Condições do ambiente onde serão realizadas as operações, como altitude, temperatura, precipitação, ventos, tipo de terreno, acessibilidade, infraestrutura eléctrica, disponibilidade de mão de obra, oficinas ou bases de distribuidores de máquinas, proximidade de áreas habitadas, limitações ambientais;
- Características do depósito mineral e revestimento (potências, natureza e grau de consolidação, propriedades geomecânicas, estabilidade de taludes, ângulo de repouso de resíduos soltos, etc);
- Mineralização (tipo e forma, espessura, inclinação, propriedades geomecânicas e alterabilidade);
- Hidrologia e hidrogeologia;
- Outras propriedades do material (densidades, factores de expansão, abrasividade e porosidade);
- Parâmetros de exploração que definem a geometria e a organização que será aplicada para a execução da obra (limites de propriedade, dimensões da escavação, alturas das bancadas, larguras das vias, bermas, organização do trabalho, taxa de produção, selectividade mineira, vida útil do projecto, disponibilidade de capital).

❖ **Critérios Específicos**

- Critérios de Desempenho (capacidade de produção, forças de escavação ou desagregação, tempos de ciclo, alturas e velocidade);
- Critérios de Projecto (potência total, vida útil, robustez, configuração, facilidade de manutenção e reparos, níveis de ruídos e fontes de energia);
- Critérios de Serviço (máquinas auxiliares necessárias, frequência de serviço, peças sobressalentes necessárias, ferramentas necessárias, treinamento de pessoal, etc);
- Critérios Económicos (custos de propriedade, operação e amortização).

2.6. DIMENSIONAMENTO DE FROTAS DE EQUIPAMENTOS MINEIROS DE CARREGAMENTOS E TRANSPORTE

A eficiência da operação de desmonte e o correcto dimensionamento da frota de carregamento e transporte, proporcionam a viabilidade de qualquer mina.

> Dimensionar os equipamentos de lavra refere-se ao processo de seleção e compatibilidade dos equipamentos de escavação, carregamento e transporte dentro de uma mina, seguindo uma estratégia previamente estabelecida. Este processo é alcançado baseando-se na subdivisão do plano para atender aos objectivos de curto, médio e longo prazo, maximizando o valor econômico da empresa (Racia , 2016).

A escolha ideal da frota dos equipamentos da mina e o seu correcto dimensionamento são factores chaves para a optimização das operações de lavra a céu aberto, pois devem enquadrar-se no perfil da mina, proporcionando o aumento da produtividade, a minimização do tempo de produção e custos do projecto mineiro. Os tipos e números de equipamentos devem estar vinculados com o sequenciamento de produção, atendendo as múltiplas origens e destinos, além das quantidades de material minério e estéril por período que devem ser perfurados, desmontados, carregados e transportados (Reis, 2019).

2.7. DISPONIBILIDADE E UTILIZAÇÃO MECÂNICA DAS FROTAS DE EQUIPAMENTOS

Segundo Júnior (2017), a disponibilidade dos equipamentos corresponde à porção do tempo de operação ou horas de serviço (turnos) programados que o equipamento está mecanicamente pronto para trabalhar. A disponibilidade dos equipamentos divide-se em disponibilidade Mecânica e Física.

2.7.1. Disponibilidade Mecânica

Segundo Moreira (2018), a disponibilidade mecânica é expressa pela equação 1.3.

$$DM = \frac{HT-(MP+MC+TP)}{HT} \times 100\% \qquad \textit{Equação (1.3).}$$

Onde:
DM – Disponibilidade mecânica;
HT – Horas teóricas possíveis de funcionamento;
MP – Manutenção preventiva;
MC – Manutenção correctiva;
TP – Tempo perdido ou paragem por motivos adversos.

2.7.2. Disponibilidade Física

Corresponde a parcela de tempo que o equipamento está apto para trabalhar, ou seja, não está em manutenção (Borges, 2013). É expressa pela equação 1.4.

$$DF = \frac{HP - HM}{HP} \times 100\% \qquad \textit{Equação (1.4).}$$

Onde:
DF – Disponibilidade física;
HP – Horas Programadas por ano (por turnos previstos);
HM – Horas de Manutenção.

2.7.3. Factor de Paralisações técnicas

Estão ligados aos factores mecânicos que permitem o bom ou não funcionamento dos equipamentos e influenciam na sua disponibilidade. São causados por avarias, abastecimento de combustível, lubrificação do equipamento, manutenção do equipamento e verificação da máquina antes e depois de ser submetido aos trabalhos de produção.

2.7.3.1. Manutenção da Frota de Equipamento

A manutenção de equipamentos consiste em procurar manter a frota em boas condições de uso, dentro dos limites econômicos, de forma que a disponibilidade e produtividade dos mesmos sejam maximizadas, evitando as paragens por defeitos e a paragem do ciclo de produção (Ribeiro, 2017).

Os trabalhos de manutenção podem ser divididos em quatro tipos, destacando-se:

- **Manutenção de Operação**

É a manutenção que o principal responsável é o operador do equipamento, ou seja, operador garante na primeira instância a boa conservação do equipamento.

- **Manutenção Preventiva**

Garante a melhor conservação do equipamento e consequentemente evita o seu retorno à oficina por quebras e outros problemas que exigem correções. Abrange os serviços de revisão da parte mecânica (substituição de peças), e da parte elétrica (verificação dos cabos, instrumentos de medição, bateria, estado do gerador, etc).

A manutenção preventiva é a melhor maneira de preservar os mecanismos das máquinas para aumentar a sua vida útil (Catalani e Ricardo, 2007).

❖ **Manutenção Correctiva**

É feita quando o equipamento apresenta defeitos, ocasionando sua parada para reparos. As paragens inesperadas por reparos comprometem o ciclo de produção e provocam a ociosidade dos equipamentos.

❖ **Manutenção Predictiva**

Visa detectar as falhas com antecedência (monitoramento regular), evitando em grande número as paradas não programadas por quebras ou falha (para manutenção correctiva), reduz o agravamento dos problemas relacionado com os equipamentos.

Objectivos da Manutenção

a) Garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos e evitar as imobilizações por avarias;
b) Reduzir o custo de manutenção e perda de produção;
c) Garantir a qualidade da produção planeada;
d) Garantir a segurança dos operadores, dos outros equipamentos e das instalações.

2.7.4. Factor de Paralisações não técnicas

Estão ligados aos factores da periféria que condicionam o bom funcionamento do equipamento e influenciam na utilização dos equipamentos, por exemplo as chuvas, refeições, ausência do operador, doenças bruscas e outros motivos não mecânicos (experiência do operador, qualidade do desmonte da rocha, entre outros).

2.7.5. Factor de Utilização da Frota de Equipamentos

Conforme Borges (2013), corresponde ao percentual de horas operadas em relação às horas disponíveis para operar. Conforme Moreira (2018), é expressa pela equação 1.5.

$$U = \frac{HT}{HP - HM} \times 100\% \qquad \textit{Equação (1.5).}$$

Onde: HT – Total de horas Efectivamente Trabalhadas.

2.7.6. Rendimento Operacional do Equipamento

É a relação entre as horas efectivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, é o produto da disponibilidade física (DF) pelo fator de utilização (U). De acordo o Borges (2013), é expressa pela equação 1.6.

$$RO = \frac{HT}{HP} \times 100 \quad \text{ou} \quad RO = DF \times U \qquad \textit{Equação (1.6).}$$

Onde:

RO – Rendimento Operacional, %.

2.8. INDICADORES DE PRODUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Segundo Clarke et al (1990) apud Racia (2016), os indicadores de produção permitem estimar a produção de qualquer equipamento, devido sua taxa de utilização, disponibilidade, produtividade, eficiência de operação, número de equipamentos e horas totais programadas.

O dimensionamento de equipamentos por indicadores de produção gera resultados fidedignos à realidade das operações (Racia, 2016). Quanto maior a relação entre os indicadores de produção estimados com os indicadores praticados, maior será o encaixe da estimativa de produção à produção realizada.

De acordo Lemos (2009), a produção horária de um equipamento é expressa em volume m^3/h movimentado por um número de horas, como mostra a equação 1.7.

$$P_h = q \times N_{cicl} \times E \qquad \textit{Equação (1.7).}$$

Onde:

Ph – Produção horária, m^3/h;

q – Produção por ciclo, de terra solta, escavada e é determinada pela capacidade da máquina, m^3.

N_{cicl} – Número de ciclos por hora, $N_{cicl} = \frac{60'}{T_{cicl}}$;

T_{cicl} – Tempo de ciclo, minutos;

E : Eficiência de trabalho, %.

2.8.1. Estimativa da Produtividade dos Equipamentos de Carregamento

A produtividade horária de um equipamento de carga, de acordo com Lemos (2009), é determinada pela expressão 1.8.

$$P_h = \frac{60'}{T_{ciclo}} \times \frac{Q_{co} \times K \times D_{isp} \times H_{ab} \times E}{Fe} \quad \textit{Equação (1.8).}$$

Onde:

P_h – Produtividade horária do equipamento de carregamento, m^3/h;

T_{ciclo} – Tempo de ciclo do equipamento de carregamento, min;

Fe – Factor de empolamento do material;

Q_{co} – Capacidade coroada do balde do equipamento, m^3;

K – Factor de enchimento do balde, %. O volume do balde difere dependendo do tipo de material carregado;

D_{isp} – Disponibilidade da máquina, %;

H_{ab} – Habilidade do Operador/Eficiência; E – Eficiência de trabalho, %.

A produção anual de um equipamento de carregamento resulta do produto da produção horária, horas teóricas por ano, como mostra a expressão 1.9.

$$P_a = P_h \times Hp \quad \textit{Equação (1.9).}$$

Onde:

P_a – Produção anual, m^3/ano;

P_h – Produção horária, m^3/h;

Hp – Horas teóricas por ano, h. Onde $\boldsymbol{H_p = H_d \times d_a}$, vamos considerar, H_d – Horas/dias; d_a – Dias/ano.

2.8.1.1. Factor de Enchimento do Balde

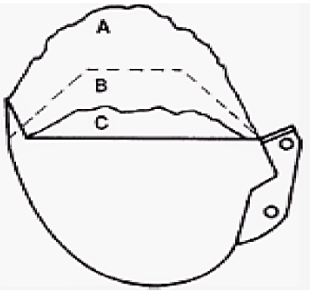
É um factor aplicável sobre a capacidade operacional do balde e depende das características do material ou das condições de desmonte, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento no material fragmentado. De acordo Komatsu (2008) apud Rácia (2016), este factor é expressa pela equação 1.10.

$$q = V_b \times K \quad \textit{Equação (1.10).}$$

Onde: q – capacidade coroada do balde, m^3;

F_{EB}, fator de enchimento do balde, segundo Caterpillar (2012), depende do tipo de material escavado, como mostra a Tabela 2. 1.

Tabela 2. 1 – Factor de Enchimento.



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

Fonte: Caterpillar (2012) apud Racia (2016).

2.8.1.2. Factor de Empolamento

Depois de ser efectuada a operação de desmonte ou fragmentação, tornando-se maior o volume que inicialmente apresentava e menor o peso específico. O material antes e depois da fragmentação, apresenta valores diferentes de volume e peso específico, é necessário considerar a variação gradual destes parâmetros no projecto de exploração, para melhor estimar a produção da frota de equipamentos de carregamento e transporte.

Portanto, com base esta análise, Moreira (2018), define empolamento como sendo o aumento gradual do volume de um material, quando é fragmentado e removido de seu estado natural, de maior compactação, para um estado mais fragmentado. É expressa pela relação entre o volume do material empolado ou depois da fragmentação ($\mathbf{V_{emp}}$), e o volume do material *insitu* ou antes da fragmentação ($\mathbf{V_{insitu}}$), designada por **Coeficiente ou factor de empolamento (*f*)**. Expressada na equação 1.11:

$$f = \frac{V_{emp}}{V_{insitu}} \qquad \textit{Equação (1.11).}$$

De acordo Ribeiro (2017), o factor de empolamento, também pode ser demonstrado pela relação entre o peso específico do material *insitu* ($\boldsymbol{\gamma_{insitu}}$), e o peso específico do material empolado ($\boldsymbol{\gamma_{emp}}$), como mostra a equação 1.12.

$$f = \frac{\gamma_{insitu}}{\gamma_{emp}} \qquad \textit{Equação (1.12).}$$

2.8.1.3. Tempo de Ciclo da Carregadora

É o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de operações (manobra, carga, descarga e posicionamento com o balde vazio), ou seja é o somatório de tempo de todas as actividades que compõem a operação de carregamento, sendo o tempo de carregamento (T_C), tempo de rotação com o balde carregado (T_{RC}), tempo de descarga (T_D) e o tempo de rotação com o balde descarregado (T_{RD}). De acordo Borges (2013), é expressa pela equação 1.15:

$$T_{ciclo.c} = T_C + T_{RC} + T_D + T_{RD} \qquad \textit{Equação (1.15).}$$

2.8.2. Estimativa da Produtividade dos Equipamentos de Transporte

Dada a importância dos camiões para o transporte dos materiais (estéril e minério) de um ponto para o outro, compete ao engenheiro de minas estimar a produtividade horária dos camiões para atender a produção definida na planificação mineira. Desta forma, de acordo o Lemos (2009), a produtividade horária de um equipamento de transporte é determinada pelas equações 1.16 e 1.16.1:

$$\mathrm{P_{h-transp}} = \left(\frac{60}{\mathrm{t_{cc}}}\right) \times \mathrm{C} \times \mathrm{ef} \qquad \textit{Equação (1.16).}$$

$$\mathrm{C} = \mathrm{n} \times \mathrm{q} \times \mathrm{K} \qquad \textit{Equação} \text{ (1.16.1).}$$

Onde:

$P_{h\text{-}transp}$ – Produtividade horária do camião, m^3/h;

t_{cc} – tempo de ciclo do camião, min;

C – Capacidade coroada do camião;

n – Número de ciclos da escavadora par encher o camião vazio;

q – Capacidade coroada do balde da escavadora/carregadora, m^3;

K – Factor de enchimento do balde, %.

ef – Eficiência de trabalho do camião, %.

A eficiência de trabalho do camião depende de factores como a habilidade do operador, disposição da máquina, das condições topográficas e dos factores de disponibilidade e utilização da máquina.

2.8.2.1. Tempo de Ciclo do Camião

O ciclo de operações, é realizado em um tempo determinado, denominado Tempo de ciclo. Portanto, o tempo de ciclo de um camião é calculado pelas equações de 1.17 à 1.17.4.

$$t_{ciclo} = t_{carr} + t_{v.carre} + t_d + t_{re.vaz} + t_{m.esp} \qquad \textit{Equação (1.17).}$$

$$t_{carr} = n \times t_{ciclo.c} \quad \textit{Equação (1.17.1)}; \qquad t_{v.carre} = \frac{D}{V_1} \quad \textit{Equação (1.17.2)};$$

$$n = \frac{C_1}{q_1 \times K} \quad \text{ou} \quad n = \frac{\text{Volume do Balde do Camião}}{\text{Volume do Balde da carregadeira}} \qquad \textit{Equação (1.17.3)};$$

$$t_{m.esp} = \frac{D}{V_2} \qquad \textit{Equação (1.17.4).}$$

Onde:
t_{carr} – Tempo de carregamento;
$t_{v.carr}$ – Tempo de viagem carregado;
t_d – Tempo de descarga;
$t_{re.vaz}$ – Tempo de retorno vazio;
$t_{m.esp}$ – Tempo de manobra e espera.
n – Número de ciclos requidos pelo equipamento de carga para encher o camião vazio;
C_1 – Capacidade nominal do camião, m^3;
q_1 – Capacidade do balde do equipamento de carga, m^3;
K – Factor de enchimento do balde do equipamento de carga;
$t_{ciclo.c}$ – Tempo de ciclo do equipamento de carga, min;
D – Distância percorrida pelo camião do ponto de carga ao de descarga, m;
V_1 – Velocidade de transporte carregado, m/min;
V_2 – Velocidade de retorno vazio, m/min;

2.8.3. Compatibilização entre os Equipamentos de Carregamento e Transporte

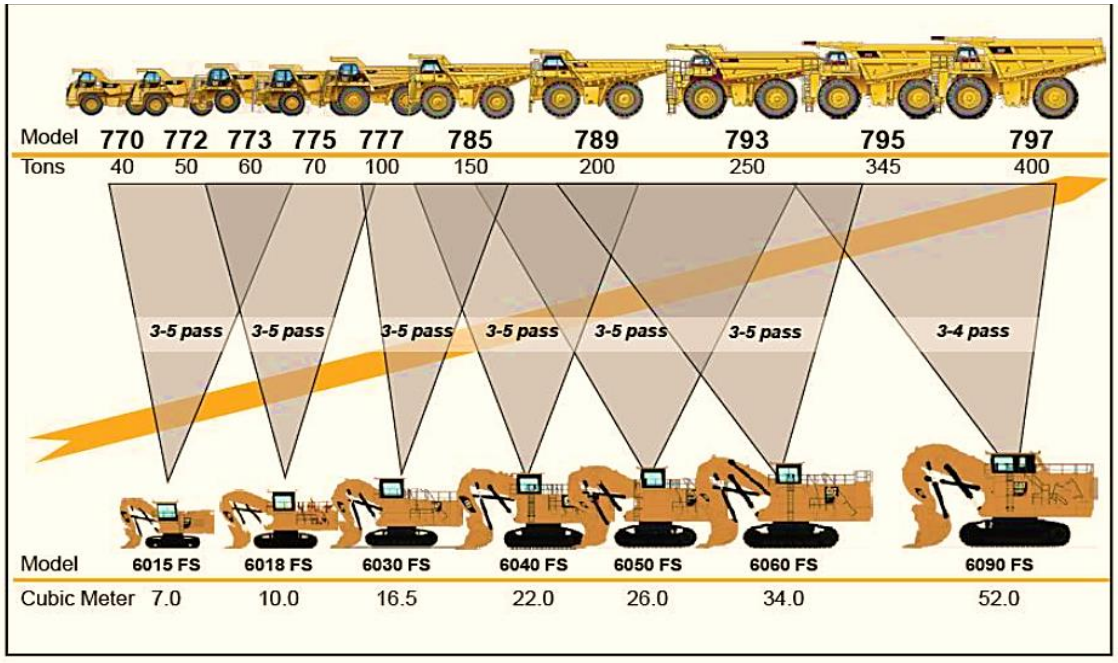
Segundo Caterpillar (2012) apud Racia (2016), para escolher um sistema adequado de carregamento (escavadora) e transporte (camião) que gera produção ideal, é necessário a compatibilização do tipo de equipamento e do balde que respeita os requisitos de produção. Sendo assim, este processo deve respeitar:

- O tipo de material e o fator de enchimento;
- Cálculo do tempo de ciclo da máquina que carrega e que transporta;
- Cálculo dos ciclos efetivos por hora;
- Calculo da capacidade do balde;

- A escolha da escavadora deve ser compatível com o tamanho do seu balde calculado;
- A escolha dos camiões, deve ser baseada no número de ciclos necessários para o enchimento do camião e do número de passes.

A Figura 2. 2 ilustra uma forma adequada da escolha de número de passes ideais para uma escavadora encher um camião Caterpillar (Souza, Cabral, 2016).

Figura 2. 2 - Relação de compatibilidade entre máquinas, baseada nos números de passes recomendados para encher um determinado camião compatível.



Fonte: Caterpillar (2004) apud Souza, Cabral (2016)

Cada modelo de carregadeira e camião possui uma capacidade específica de carga e desta forma pode-se determinar o número de passes (ciclos), necessários para que seja realizado por completo o carregamento do balde do camião (Melo, 2020).

2.9. CUSTOS OPERACIONAIS DA MINA

A viabilidade económica de uma mina a céu aberto depende da forma de planificação e gestão das tarefas e operações (principais e auxiliares).

Os custos operacionais aumentam gradualmente nas empresas mineiras, e para mitiga-los faz-se a análise dos custos totais e unitários atendendo a variação constante no volume de produção.

Os principais custos operacionais de uma mina são quatros (4), a maioria estão associados aos equipamentos, nomeadamente: Custo de combustível e lubrificante, custo de manutenção, custo de Amortização e custo associado ao operador.

❖ **Custo de Combustível e Lubrificante**

Depende fundamentalmente da potência do motor e das condições de trabalho aos quais são submetidos. Conforme João (2023), para equipamentos com a 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 esta varia para as situações de uso baixo (40%), médio (55%) e alto (75%) compressão, expressa na equação 1.18.

$$C_c = 0{,}15 \times f \times HP \qquad \textit{Equação (1.18).}$$

Onde:
C_c – Consumo de Combustível por hora, 1/h;
f – Factor de Potência;
HP – Potência do motor, Kw.

❖ **Custo de Manutenção**

Refere-se aos custos de manutenção. O custo com pneus representa um item importante na análise dos custos com a manutenção, é estimado baseando-se na sua vida útil e nas condições de trabalho que operam os equipamentos pneumáticos. A vida útil dos pneus são estimados baseando nas condições que o terreno apresenta, destacando:

- **Condição moderada:** o terreno apresenta pouca resistência total, materiais não-abrasivos e as estradas de roldagem bem conservadas;
- **Condição média:** as estradas de roldagem medianamente conservadas e alta resistência ao rolamento;
- **Condição severa:** quando a estrada de roldagem apresenta material duro e rochoso e alta resistência de rolamento.

❖ **Custo de Amortização**

Resulta do exercício do equipamento, distribui o custo de aquisição do equipamento por todas as tarefas que se esperam que o mesmo realiza. Ou seja, é uma análise económica que considera o envelhecimento financeiro dos bens (máquinas, etc). Portanto, resulta da relação entre o custo de aquisição do equipamento pelos produtos produzidos pelos equipamento durante um período determinado.

❖ **Custo com Operadores**

O total dos custos de mão-de-obra depende da oferta salarial do operador, que corresponde as horas de trabalho. É único custo operacional que ocorre mesmo quando a máquina está parada ou à disposição.

2.10. PLANIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DA MINA SEGUNDO TAYLOR

Segundo Alfredo (2015), conhecendo as reservas exploráveis da mina, segue-se a fase da determinação da vida útil do projecto e sabe-se a menos o ritmo de produção pela fórmula de Taylor, expressa pela equação 1.19.

$$P = 0.15 \times R^{0.75} \times (1 \pm 0.2) \qquad \textit{Equação (1.19).}$$

A vida útil do projecto (**D**), é calculada segundo a equação 1.20:

$$D\ (\text{anos}) = 6.5 \times R^{0.25} \times (1 \pm 0.2) \qquad \textit{Equação (1.20).}$$

Onde:

R – reservas exploráveis da mina, t (toneladas);

P – ritmo de exploração, t/ano;

D – vida útil da mina (prazo racional de exploração de reservas), anos.

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o procedimento metodológico que foi utilizado para a realização do trabalho de monografia, a fim de facilitar a compreensão do desdobramento do tema supracitado. Será inicialmente apresentada:

3.1. METODOLOGIA DE PESQUISA

O método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que se devem empregar na investigação, é a linha de raciocínio implementado no processo de pesquisa.

A metodologia de pesquisa aplicada foi a quali-quantitativa, sendo que caracterizou-se em buscar, analisar, interpretar os conhecimentos bibliográficos e documentais relacionados ao trabalho "planificação mineira e dimensionamento de frotas de carregamento e transporte", baseando-se nas revisões bibliográficas e recolha de dados da mina, para posterior desenvolvimento e abordagem dos resultados, a fim de resolver problema de realidade mineira, caracterizando o estudo de caso propriamente dito através das informações operacionais da mina a céu aberto. Portanto, a metodologia de pesquisa foi delineado:

1. No início fez-se prévia revisão bibliográfica acerca da "planificação mineira e dimensionamento de frota de carregamento e transporte em uma mina a céu aberto", em artigos, monografias, dissertações, livros, entre outros.
2. Através do levantamento bibliográfico foram analisadas as metodologias existentes e selecionada uma preferida para a realidade da empresa estudada.
3. Com todas as informações colectadas, foi feita a inserção dos dados em planilha eletrônica, obtendo a quantidade de equipamentos necessários para a extração das massas de minério e estéril planeadas.
4. Para a conclusão, foi feita o plano de produção, análise dos resultados e da variação da capacidade produtiva (tamanho da frota).

3.2. RECOLHA DE DADOS

Os dados recolhidos do projecto em estudo possibilitou o estudo detalhado:

1. Das massas extraídas estabelecida no planeamento de lavra da mina;
2. O cumprimento das horas programadas para o funcionamento dos turnos de trabalho por dia;
3. Saber as distâncias médias de transporte das cavas até os destinos (pilha de estéril/central de tratamento);
4. Saber a capacidade dos equipamentos de carga e transporte, número de equipamentos e o tempo de ciclo;
5. Saber a produção da mina;
6. Saber o factor de disponibilidade física e o factor de utilização dos equipamentos de acordo com o programa de manutenção;
7. Saber a eficiência de produção e a eficiência global de equipamento.

CAPÍTULO IV – ESTUDO DE CASO

4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROJECTO MINEIRO

4.1.1. Breve Historial do Projecto Mineiro

A Cooperativa de Exploração Mineira de Luxinene se dedica à exploração Artesanal e Semi-Indústrial de Diamantes, com a extensão de aproximadamente 42 km^2, localizada na província da Lunda Norte, Município de Cambulo, na área do Luxinene – Nzagi, foi concebida no âmbito da implementação do programa de diversificação da Indústria Mineira, com a criação das cooperativas, visando o combate ao garimpo e a venda ilegal de diamantes, bem como a integração económica dos mineradores artesanais/garimpeiros.

Visando o aumento das receitas do Estado e a optimização dos benefícios económicos da actividade mineira para as Comunidades. A concessão foi uma das poucas áreas oficialmente desanexadas pela Sociedade Mineira do Chitotolo, para o exercício da actividade artesanal. Foi neste espírito que a Cooperativa Mineira de Luxinene desenvolveu as suas actividades, realizando investimentos para investigação geológico-mineiras que consistiram na implantação, no reconhecimento, prospecção, pesquisa, avaliação e exploração de jazigos secundários de diamantes remanescentes da zona.

As informações geológicas que tiveram na base da determinação das reservas mineiras existentes na área de concessão, provêm do arquivo geológico da ENDIAMA-EP, produzidos pela ex-Diamang e por isso, uma equipa Técnica composta de Geólogos, Engenheiros de Minas e Operadores, foram contratados para reavaliar as reservas remanescentes, contando com uma pequena Lavaria de prospecção, onde foram tratadas as amostras e deste processo resultou dados utilizados para a viabilização do projecto.

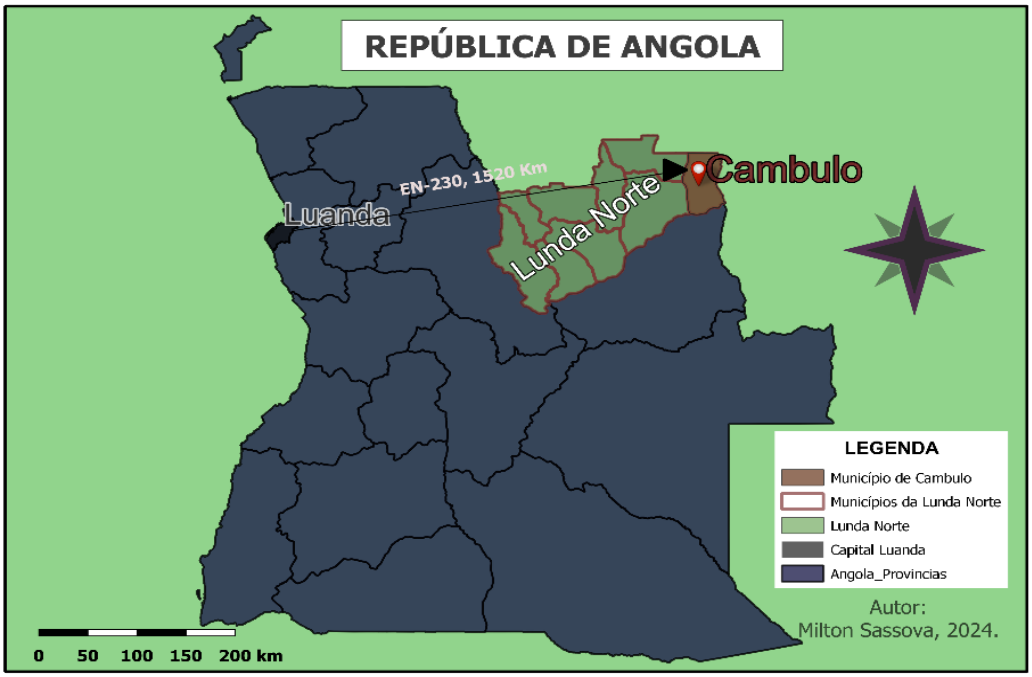
4.1.2. Localização geográfica e Vias de Acesso

- **Localização Geográfica**

Em termos administrativo-geográficos, a Cooperativa Mineira de Luxinene situa-se no Nordeste da República de Angola, na parte noroeste da província da Lunda Norte, entre as Vilas mineiras do Luxilo e do Nzagi, situada no Município de Cambulo e faz fronteira a

Sul, com a Cooperativa Wayane, a Norte com o Sector do Luxilo e a Este e Oeste, com o projecto Chitotolo, do mesmo Município. Como ilustra a Figura 4. 1.

Figura 4. 1 - Localização geográfica da cooperativa mineira semi-industrial de diamante em Angola.



Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 4. 1, descreve as coordenadas geográficas da Cooperativa Mineira de Luxinene.

Tabela 4. 1 - Coordenadas geográficas da cooperativa mineira de Luxinene.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
PONTOS	**LONGITUDE**	**LATITUDE**
A	7°38′45.00″ S	21°15′32.00″ E
B	7°37′57.00″ S	21°15′25.00″ E
C	7°35′58.00″ S	21°21′37.00″ E
D	7°36′0.00″ S	21°23′18.00″ E
E	7°37′38.00″ S	21°23′34.00″ E

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

❖ **Vias de Acesso**

O acesso para a área da cooperativa pode ser feita a partir de Luanda, por via de Estrada Nacional EN-230, (toda asfaltada) passando por Malanje, Saurimo, Lucapa, Dundo e Nzagi, percorrendo uma distância de cerca de 1520 Km. Como alternativa pode-se também utilizar a Estrada EN-225 desvio do Cuango até Dundo, também asfaltada em quase toda sua extensão, cerca de 1300 km, como mostra a Figura 4. 2.

Figura 4. 2 - Vias de acesso para a região do Nzagi pelo estrada nacional EN-225.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

O acesso pode igualmente ser feito de avião, com rotas regulares nos Aeroportos do Dundo (cerca de 80 km da cooperativa, pista asfaltada) e como alternativa, pode-se utilizar o aeródromo do Nzagi, a cerca de 20 Km, pista de terra batida.

Os acessos dentro da área de concessão, encontram-se em boas condições, o que permitem a circulação fácil dos Engenhos e meios rolantes na ligação entre as frentes de exploração do minério as Lavarias, bem como do acampamento, um dos factores que permite diminuir os custos operacionais.

4.2. GEOMORFOLOGIA E HIDROGRAFIA DA REGIÃO

4.2.1. Clima

A Cooperativa de Luxinene situa-se na Lunda Norte, no Município de Cambulo, oferece um clima característico, tropical úmido e quente, com duas estações anuais: A estação chuvosa e a estação seca (cacimbo), em que a primeira é mais longa e dura aproximadamente nove meses, de Setembro à Maio e a segunda dura três meses de Junho à Agosto. A temperatura anual varia entre as mais baixas de 14ºC e as mais altas 35ºC, a média anual de umidade varia entre 70% à 75%, com precipitações médias superiores à 1500 mm/ano.

4.2.2. Fauna e Flora

A diversidade da fauna compreende mamíferos, aves diversas, repteis, batráquios, peixes e vertebrados (felídeos, antópolos, coleópteros, fauna do solo, etc).

A vegetação da área de estudo (Figura 4. 3), é caracterizada por vegetação mais ou menos densa do tipo savana, composta por florestas e pastagens. Com flora de savana de folha larga decíduo úmida e florestas de pastagens abertas de raras árvores e arbustos que formam-se muito nas bordas dos rios e vales, sendo coberto de vegetação rasteira.

Figura 4. 3 - Vegetação da área de estudo.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.2.3. Hidrografia

A cooperativa de Luxinene, geograficamente faz parte da bacia hidrográfica do rio Luembe (Figura 4. 4), que é afluente do rio Cassai que por sua vez é um dos maiores rios da província da Lunda Norte.

Figura 4. 4 - Rio Luembe.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO E DO LOCAL

4.3.1. Geologia regional

A província da Lunda Norte, é uma das estruturas tectónicas da Região Nordeste de Angola, é composta por duas falhas principais paralelas e orientadas na direção NE-SW. Também é conhecida pela designação de Corredor de alinhamento do Lucapa. As duas linhas principais são atravessadas por várias falhas recentes que terão sido responsáveis pela ascensão das erupções kimberlíticas e outras fontes primárias e secundárias de diamantes nas Lundas.

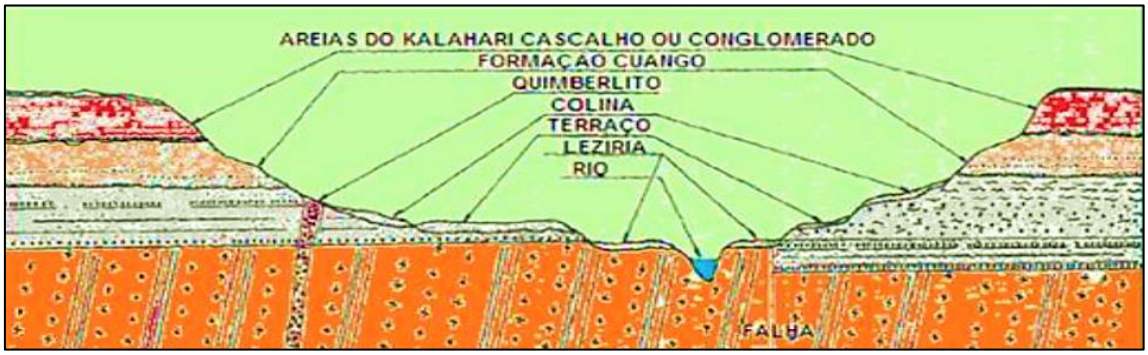
4.3.2. Geologia local

Geologicamente, as reservas de minério existente na Cooperativa, é caracterizada pelas seguintes formações geológicas:

- **A formação Calonda**, é caracterizada por um conjunto de depósitos gresoso e conglomerático, com intercalação de argilitos diamantíferos em certas partes e contém minerais magnéticos presumivelmente resultantes de kimberlitos erodidos.
- **A formação Kalahari**, é caracterizada por intensa silicificação limitada por duas superfícies de erosão: a mais antiga recobre a formação Calonda (Kalahari Inferior), a mais moderna suporta a série das argilas ocres arenosa (Kalahari Superior).
- **Depósitos recentes Diversos** ou **Aluviões**, na área em análise predominam os depósitos de Rios, Terraços, Lezírias e os das Colinas.

Em todas as actividades de prospecção mineira de natureza especifica, assume particular importância a descoberta de concentração da substância útil (diamantes), nos níveis conglomeráticos da formação Calonda e kalahari. Os conhecimentos técnicos e geológicos adquiridos ao longo das prospecções e explorações de diamantes no Nordeste (NE) de Angola indica que um dos controlos geológicos é a granulométria dos sedimentos, os diamantes ocorrem quase que exclusivamente em cascalhos. A Figura 4. 5, ilustra os modelos dos depósitos da Cooperativa Mineira de Luxinene.

Figura 4. 5 - Modelo estratigráfico dos depósitos diamantífero da cooperativa mineira de Luxinene.



Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.4. PESQUISA GEOLÓGICA

A cooperativa de Luxinene, começou com os trabalhos de investigação geológico-mineira desde Outubro de 2017, isto desde a outorga do primeiro Título de Exploração Mineira, no pretérito ano de 2017, com nº 034/09/03/T.E/ANG-MGM/2017, tendo sido obrigado a paralisar com os trabalhos em curso nos meados de 2018, por imperativo da Operação Transferência. Reactivou-se as mesmas a partir de Setembro de 2019, graças a renovação do título mineiro.

Através das técnicas de prospecção tem sido possível obter dados fidignos, que permitem avaliar as espessuras de estéril e minério, bem como, o teor médio, o tamanho médio das pedras de diamantes, nos blocos de referência e consequentemente, permitiu calcular as reservas mineiras existente, prever os níveis de produção.

As áreas com reservas viáveis, foram sujeitos aos estudos e pesquisa geológico mais profundo, sendo feitas abertura de poços, sanjas e trincheiras, utilizando métodos e equipamentos adequados para a recolha de amostras, como ilustra a Figura 4. 6 (A e B).

Figura 4. 6 - Sanjas (A) e poço feito por uma sonda de perfuração à trado mecânico (B).

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Nos locais onde forem identificados indícios de mineralização intensa, a recuperação das amostras, foram adquiridas numa malha rectangular com o espaçamento de 100mx50m, e em caso da obtenção dos resultados mais confiáveis, estabeleceu nesta zona, uma malha de perfuração de 50mx50m de espaçamento, com vista a se obter mais e melhores informações sobre a presença de minério para a definição dos blocos.

Antes dos altos investimentos adicionados na fase prospecção, para aquisição de outros equipamentos de carga e transporte, foram feitas aberturas de sanjas ou trincheiras utilizando as escavadoras, de salientar que, alugou-se uma sonda de perfuração à trado

mecânico, com circulação inversa que possibilitou a recolha de amostras em profundidades mais elevadas, com o objectivo de estudar melhor as características do cascalho e obter as espessuras das diferentes camadas, principalmente para acompanhar o comportamento da possante Formação Calonda, cuja profundidade em algumas áreas ultrapassa trinta metros de estéril.

A Figura 4. 7 (A, B e C), apresenta os equipamentos de maiores investimentos utilizados para aberturas de trincheiras, para recolha de amostras de sondagem.

Figura 4. 7 - Bulldozer (A), escavadora (B) e camião basculante (C).

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Estas actividades têm sido aplicados, visando sempre a recuperação de diamantes em grandes quantidades, para se determinar o teor, para classificar e determinar o tamanho das pedras. Todavia, a continuidade destas actividades, servirá de ampliação dos blocos a partir das áreas adjacentes aos blocos explorados ou em exploração, sempre direcionados na perspectiva de localizar a continuidade do filão do mineiro.

Para análise das amostras recolhidas na fase de prospecção, implementou-se inicialmente uma pequena Lavaria com a capacidade de 10Tph, acoplada a duas (2) gigas, cuja eficiência de recuperação de diamante estava na ordem dos 65%, carecendo naturalmente de alguns cuidados especiais durante o tratamento de minério, para assegurar os melhores resultados, tendo funcionado durante cerca de dois meses, tratando aproximadamente 220 m^3 de minério, tendo obtido 63 diamantes, equivalentes a 24,80qts, recuperando um teor médio de 0,11 qts/m^3. A Figura 4. 8, ilustra a pequena Lavaria implementada para tratar as amostras recolhidas durante o trabalho de sondagens.

Figura 4. 8 - Pequena lavaria de prospecção para processar as amostras das sondagens.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.4.1. Determinação dos Blocos Mineiros Georreferenciados

Durante e depois da obtenção dos resultados fidedignos pela central de tratamento, a Direcção da Cooperativa optou em ampliar a equipa de topografia, para efectuar os trabalhos de demarcação dos locais, tanto na fase de prospecção como na fase de exploração e outros serviços, de modo a proporcionar melhor orientação das actividades geológico-mineiras. Este trabalho foi realizado, utilizando um kit de materiais topográficos, nomeadamente, GPS de grande precisão, computador de alta resolução, scanner, plotter, rolos de pápeis, tinteiros e outros meios de gabinete e de campo (teodolito e nível).

Com auxílio das técnicas de levantamento topográfico, foi possível determinar os locais exactos dos blocos a explorar, as suas formas bem como as suas delimitações geográficas. A Figura 4. 9, ilustra uma ferramenta que tem sido utilizada na orientação dos trabalhos mineiros.

Figura 4. 9 - Levantamento das coordenadas geográficas, utilizando GPS de alta precisão.

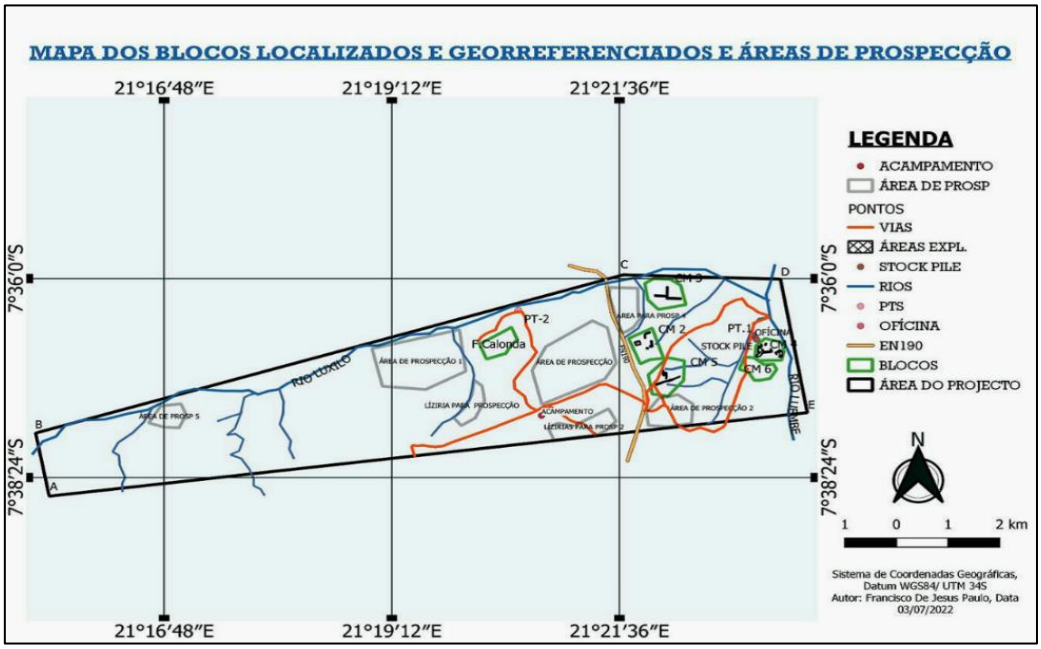
Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Após um trabalho árduo, foi então possível a elaboração dos mapas dos blocos mineiros localizados e georreferenciados e também a delimitação das áreas propectadas e das que se pretende prospectar, como ilustram as Figura 4. 10 e Figura 4. 11.

Figura 4. 10 - Mapa de delimitação da cooperativa mineira de Luxinene.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Figura 4. 11 - Mapa dos blocos localizados E georreferenciados.



Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Desde aquisição do Título de Prospecção e Exploração Mineira em 2019, até 2020 foram feitas mais de 14 trincheiras na concessão mineira, as mesmas foram feitas nos Blocos CM1, CM2, CM3, CM4, CM5, CM6, CM7 e CM8 com a finalidade de se conhecer a geologia local, redefinir e reavalia-los, a fim de ampliar as reservas geológicas (Estimadas ou Potenciais) em reservas mineiras prováveis e provadas economicamente viáveis. Estes blocos foram aptos para uma exploração racional e se localizam no extremo Leste (E) da área de concessão, em paralelo a estrada nacional EN190-B, direcção Norte (do Nzagi para Dundo).

4.4.2. Reservas Prováveis e Provadas

Depois de uma investigação exaustiva geológico-mineira, foi possível a confirmação de reservas exploráveis nos blocos, que garantiram a viabilidade técnica, económica e financeira, por meio das massas mineiras determinadas nos anos de 2019-2022, como mostra a Tabela 4. 2 e para calcular os quiláteres produzidos em cada bloco até 2022, utilizou-se a equação 4.1 e a Tabela 4. 3 apresenta os resultados.

Tabela 4. 2 - Volume de massa mineira.

MASSA	VOLUMES DE MASSA MINEIRA NOS BLOCOS (m3)								TOTAL
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8	
Estéril	6.497.400	7.166.250	7.771.400	3.038.000	1.568.000	1.792.000	504.000	224.000	**28.561.050**
Minério	145.875	159.250	177.725	158.800	156.800	144.800	168.800	156.000	**1.268.050**
TOTAL	**6.643.275**	**7.325.500**	**7.949.125**	**3.196.800**	**1.724.800**	**1.936.800**	**672.800**	**380.000**	**29.829.100**

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

A viabilidade de um projecto mineiro diamantífero é determinado quando se sabe ao menos os quiláteres que serão produzidos nas diferentes reservas (blocos) do jazigo da concessão.

$$Q_i = V_m \times t \qquad \textit{Equação (4.1)..}$$

Onde:

Q_i – Quiláteres; V_m – Volume de Minério; t – Teor do minério.

Tabela 4. 3 – Quiláteres produzidos na cooperativa até 2022.

BLOCOS	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8	TOTAL
Volume (m^3)	145.875,00	159.250,00	177.725,00	158.800,00	156.800.00	144.800,00	168.800,00	156.000,00	**1.268.050,00**
Teor (Qts/ m^3)	0,1	0,12	0,15	0,1	0,1	0,12	0,1	0,12	**0,91**
Quiláteres Produzidos	**14.587,50**	**19.110,00**	**26.658,80**	**15.880,00**	**15.680,00**	**17.376,00**	**16.880,00**	**18.720,00**	**144.892,25**

Fonte: Autor, 2024.

4.4.3. Teor Médio do Jazigo

Para uma exploração racional, é necessário conhecer o teor médio e a espessura média do jazigo, sendo que não existe jazigo uniforme em todos os seus pontos, logo o jazigo da concessão de Luxinene não é a excepção, pois apresenta diferentes teores e espessura em cada bloco, como ilustra a Tabela 4. 4. Conhecendo a espessura (E) de cascalho em metros de cada bloco e o teor (t) em qts/m^3 de cada bloco, determina-se a espessura média (equação 4.2), e o teor médio do jazigo (equação 4.3):

$$E_m = \frac{\sum E_i}{n} \qquad \textit{Equação (4.2).}$$

$$t_m = \frac{\sum t_i \times E_i}{\sum E_i} \qquad \textit{Equação (4.3).}$$

Onde: E_m – Espessura média, m; t_m – Teor médio, %; n – número de blocos.

Tabela 4. 4 - Espessuras (E) das camadas de cascalho e o teor (t) dos bolos do jazigo da cooperativa.

BLOCOS	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8
Espessura (m) de Estéril	20,4	22,5	24,4	15,5	8	4	3	2
Espessura (m) de Minério	0,35	0,5	0,45	0,3	0,8	1	0,8	0,5
Teor (Qts/ m^3)	0,1	0,12	0,15	0,1	0,1	0,12	0,1	0,12

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

$$E_m = \frac{4,7}{8} \Rightarrow E_m = \mathbf{0,5875\ m}. \quad \text{e} \quad t_m = \frac{0,5325}{4,7} \Rightarrow t_m = \mathbf{0,113}\%.$$

Com um teor médio de 0.113qt/m^3 (zero ponto cem e dezoito quilates de diamantes por metro cubic de mineiro). Assim sendo, a partir dos dados das reservas inferidas, estima-se recuperar 143.289,65 qt (cento e quarenta e três mil, duzentos e oitenta e nove virgula sessenta e cinco, quilates) de diamantes.

4.5. RELAÇÃO ESTÉRIL/MINÉRIO

Para saber a quantidade de estéril e minério que precisa ser removido, é necessário no planeamento considerar a relação estéril-minério (REM) que usualmente é expressa em **m^3/ m^3**, **t/t** ou em certas ocasiões **m^3/t** dependendo do tipo de minério. Contudo, Hartman (1992) apud De Carli (2013), definiu REM como sendo a razão entre a massa total de estéril e a massa total de minério a fim de extrair o volume adequado de estéril ou minério do depósito, como mostra a equação 4.4.

$$\text{REM} = \frac{\text{Ve}\ (m^3)}{\text{Vm}\ (m^3)} \qquad \textit{Equação (4.4).}$$

Para conhecer a REM é necessário primeiramente definir os limites da cava, bem como determinar os blocos que devem ser lavrados, para então quantificar o minério e estéril contidos nela, como mostra a Tabela 4. 5.

Tabela 4. 5 - REM dos volumes movimentados.

TIPO DE MASSA	VOLUMES DE MASSA MINEIRA NOS BLOCOS (m3)								TOTAL
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8	
Estéril	6.497.400	7.166.250	7.771.400	3.038.000	1.568.000	1.792.000	504.000	224.000	**28.561.050**
Minério	145.875	159.250	177.725	158.800	156.800	144.800	168.800	156.000	**1.268.050**
REM	**58,3**	**45**	**54,2**	**51,7**	**10**	**4**	**3,8**	**4**	**28,875**

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

A média de REM durante este período é de 3,6 m^3/ m^3. Desde 2019-2022, actuando na exploração semi-indústrial de diamante, tem sido executado os trabalhos de prospeção, afim de descobrir mais blocos viáveis e consequentemente aumentar as reservas mineiras e o potencial da concessão. No entanto, os blocos reavaliados até a presente data, as estimativas indicam haver um potencial de reserva mineira na ordem de 1.268.050 m³ com um teor médio é de 0.11qt/m^3 (zero ponto onze quilates de diamantes por metros cúbicos de minério).

4.6. PLANO DE PRODUÇÃO A LONGO PRAZO

Partindo das reservas mineiras acima assumidas (R, exprimidas em milhões de toneladas) usam-se as fórmulas de Taylor para dimensionar o ritmo óptimo de exploração:

- Ritmo de exploração P (em 10^6 toneladas/ano) $=0.15 \times R^{0.75} \times (1 \pm 0.2)$
- Duração da vida da exploração D (anos) $= 6.5 \times R^{0.25} \times (1 \pm 0.2)$

Onde:

R (reserva) = 1.268.050 m³ calculando, encontram-se os seguintes resultados, como ilustra a Tabela 4. 6, ritmo e duração de exploração.

Tabela 4. 6 - Duração e rítmo de produção da mina.

	Mínimo	Médio	Máximo
Ritmo de exploração em TS/ano	415112,6	332090,107	276741,8
Duração de exploração em anos	6,7	8,40046103	10,8

Fonte: Autor, 2024.

Por razão de conveniência, opta-se pela produção de 341.314,8356 tons/ano e uma longevidade da mina de cerca de 8 anos.

De acordo a reserva existente, pode-se classificar o depósito mineral em um depósito de pequeno porte, como ilustra a Tabela 4. 7.

Tabela 4. 7 - Classificação da mina em função do porte.

Tamanho da Mina	Exploração a Céu Aberto
Nível	**Toneladas/Ano**
Pequeno	**< 1.000.000**
Médio	> 1.000.000 < 5.000.000
Normal	> 5.000.000 < 25.000.000
Grande	> 25.000.000 < 100.000.000
Gigante	> 100.000.000

Fonte: Veloso, 2015.

O minério em um jazigo apresenta um peso específico e um volume, vulgarmente conhecidos por peso específico *in situ* e volume in situ. Todavia, quando o minério é submetido a operação de fragmentação, menor torna-se o seu peso específico e maior o seu volume, conhecidos por peso específico empolado e volume empolado. Sendo assim, a Tabela 4. 8, apresenta os seguintes parâmetros do planeamento mineiro.

Tabela 4. 8 - Parâmetros do planeamento mineiro.

Parâmetros	Valores
Peso específico de minério in situ (tons/m^3)	2,268
Peso específico de minério extraído (tons/ m^3)	1,89
Peso específico de estéril in situ (tons/ m^3)	2,04
Peso específico de estéril extraído (tons/ m^3)	1,7
Coeficiente de empolamento de minério	1,2
Coeficiente de empolamento de estéril	1,2

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Baseando nos dados da tabela anterior e utilizando as esquações 1.11 e 1.12, calcula-se os parâmetros da Tabela 4. 9, que auxiliam na viabilidade do projecto:

Tabela 4. 9 - Parâmetros que auxiliam na viabilidade do projecto.

Ritmo de exploração anual escolhido do minério in situ (TS/ano)	299.577
Volume anual de minério *in situ* (m^3/ano)	132.088,6
Volume anual de minério extraído (empolado, m^3/ano)	158.506,3
Volume anual do estéril *in situ* (m^3/ano)	3.813.398,58
Volume anual do estéril extraído (empolado, m^3/ano)	4.576.078,3
Volume anual total minério + estéril *in situ* (m^3/ano)	3.945.487,18
Volume anual total minério + estéril extraído (empolado, m^3/ano)	4.734.584,6
Conteúdo de diamantes no minério extraído anualmente (qlts/ano)	18.230

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Até de 2022, a cooperativa removeu cerca de 3 milhões de metros cúbicos de estéril e cerca de 1 milhão de metros cúbicos de minério, isto é cerca de 2 milhões de toneladas de minério por ano, que totaliza cerca de 4 milhões de metros cúbicos de massa mineira desmontada, com uma relação estéril/minério médio (REM) de 3,6 m^3/m^3 (1,619 m^3/t), o que significa dizer que em média para extrair 1 tonelada de minério será necessário remover 1,619 metros cúbicos de estéril.

4.6.1. Planificação da Produção Mineira

A planificação da produção mineira de um projecto, influencia na sobrevivência e na gestão, todavia permite escolher as várias alternativas de melhoria contínua para alcançar os objectivos da empresa. Este processo é contínuo, já que os planos de produção da mina são constantemente actualizados para ajustar-se as mudanças no ambiente de negócios.

4.6.2. Produtividade Horária Requerida Para Atingir a Produção

A estimativa de produção horária de minério e estéril, permite a melhor gestão e optimização do projecto e consequentemente melhorar o dimensionamento dos equipamentos. Esta estimativa é feita tendo em conta um conjunto de parâmetros internos e externos da empresa de modo a não produzir excessivamente e nem reduzidamente, porém na medida adequada para atender a demanda do mercado. De acordo Lemos (2009), é determinado pela razão entre o volume empolado da massa mineira (estéril ou minério), pelo o número de horas trabalhadas em um ano.

- **Considerações:**

  Dias de trabalho: 365 dias por ano;

  Regime diário: 2 turnos de 8 horas cada;

  Densidade média do minério: 1,89 t/m^3;

  Densidade média do estéril: 1,7 t/m^3.

  Totalizando 16 horas de trabalho diário e 5840 horas de trabalho por ano.

❖ **Produção Horária de Minério**

A produção horária minério surge da relação entre o volume anual de minério e as horas totais de trabalho por ano, sendo:

$$Produção\ horária\ de\ Minério = \frac{Volume\ de\ minério}{N°\ de\ horas\ num\ ano} = \frac{158.506{,}3\ m^3}{5840\ h}$$

$$= \mathbf{27{,}1415\ m^3/h} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{51{,}297\ ton/h}$$

❖ **Produção Horária de Estéril**

A produção horária de estéril surge da relação entre o volume anual de estéril e as horas totais de trabalho por ano, sendo:

$$Produção\ horária\ de\ Estéril = \frac{Volume\ de\ estéril}{N°\ de\ horas\ num\ ano} = \frac{4.576.078{,}3\ m^3}{5840\ h}$$

$$= \mathbf{783{,}575\ m^3/h} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{1332{,}0775\ ton/h}$$

❖ **Produção Horária de Massa Mineira**

A produção horária de massa mineira, surge da relação entre o volume anual de massa mineira e as horas totais de trabalho por ano, sendo:

$$Produção\ horária\ de\ Massa\ Mineira = \frac{Volume\ de\ massa\ mineira}{N°\ de\ horas\ num\ ano}$$

$$Produção\ horária\ de\ Massa\ Mineira = \frac{4.734.584{,}6\ m^3}{5840\ h} \quad \Rightarrow \mathbf{810{,}717\ m^3/h}$$

4.7. OPERAÇÕES MINEIRAS

Após a confirmação da reservas viáveis, altos investimentos foram feitos para aquisição de equipamentos, que permitem melhorar os trabalhos de remoção de estéril, extracção e transporte do minério aos locais já identificados, operando na Formação Calonda de alta espessura de estéril, sem negligenciar a possibilidade de tratar altos volumes de cascalho das Lezírias, dos terraços e Kalahari inferior (grés).

4.7.1. Equipamentos Utilizados

Para extraír as reservas provadas, a frota de equipamentos utilizados, segundo João (2023), são classificados em:

- **Equipamentos principais** - são aqueles indispensáveis para a realização dos trabalhos de carregamento e transporte do mineral.
- **Equipamentos auxiliares** - são aqueles que auxiliam na realização dos trabalhos feitos pelos equipamentos principais e o saneamento da mina.

A Tabela 4. 10, apresenta os tipos e as quantidades dos equipamentos utilizados nas fases de prospecção-exploração. Os equipamentos de remoção e extracção de minério, estão ilustrados na Figura 4. 12.

Tabela 4. 10 - Equipamentos utilizados nas fases de prospecção-exploração.

NOME	N° DE UNIDADES	MODELO
Escavadoras	4	Cat 320
		Cat 330
		Volvo do tipo EC480D
		PC-Komatsu 450
Bulldozers	2	Uma D6
		Uma New Holland 320
Camiões Basculantes	4	Volvo A30F
Camiões articulados	2	Volvo A25
Pá Carregadora	3	Uma Cat 950
		Duas Volvo L150J
Motoniveladora	1	Cat 140
Retro-Escavadora	2	Uma JCB
		Uma Cat

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Figura 4. 12 - Os equipamentos de remoção e extracção de minério (A e B).

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.7.2. Funções dos Equipamentos Utilizados

Os equipamentos são dimensionados para realizar trabalhos específicos, facilitando na execução das tarefas de produção da mina.

- **Camiões, s**ão utilizados para transportar certo volume de estéril e volume de minério de um ponto para o outro, possibilitando a flexibilidade dos transportes dos mesmos.
- **Escavadora e Retro-Escavadora,** são utilizados para fragmentação mecânica, escavação, carregamento dos camiões com massa de estéril ou minério e descarga.
- **Bulldozer ou Tractor de Esteira** com lâmina e escarificador (*ripper*), é frequentemente utilizado para preparação das frentes, para desmonte e para limpeza de terrenos virgens, facilitando o trabalho posterior de outros equipamentos de escavação, carregamento e transporte. Ou seja, utiliza-se para decapeamento do terreno cuja consistência do maciço não permite o desmonte com a própria lâmina do trator, porém primeiramente com escarificação (fazendo fendas) em toda a área a ser removida e, posteriormente, executa-se a remoção com a lâmina do tractor.
- **Motoniveladora,** é para a manutenção da faixa de roldagem, possibilitando a melhor circulação dos equipamentos de transporte. É equipado com uma lâmina e escarificadores para abrir fendas e tornar o terreno menos coeso.

4.7.3. Remoção Do Estéril

Esta actividade consiste em remover a camada que assenta sob o minério, camada que não contem minério. Normalmente, são feito cortes de 10m à 15m de largura, 80m à 200m de comprimento, de acordo com a espessura do estéril, utilizando máquinas escavadoras existentes.

Nos blocos com alta espessura de estéril, as bulldozers de maiores capacidades, por exemplo as bulldozers tipo Cat D9 ou Cat D10 ou ainda equivalentes em Komatsu, são as adequadas para remoção de terra, baixando até cerca de 10 a 15 metros a espessura do estéril, preparando o terreno para as escavadoras.

Durante a remoção, tem-se o cuidado de evitar o excesso de estéril sobre a camada mineralizada, para diminuir a diluição do minério. A Figura 4. 13, ilustra o processo de remoção de estéril nos blocos de terraço.

Figura 4. 13 - Remoção de estéril nos blocos de terraço.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.7.4. Extracção De Minério e Limpeza Da Rocha Base

Esta etapa consiste em extrair as partes economicamente exploráveis (cascalho), onde serão feitos cortes de 8 m à 10 m de largura, utilizando máquinas escavadoras.

Nos blocos de lezíria devido a fraca consistência do terreno, tem-se construido esteiras (deposição de inertes de colina-areias vermelhas do Kalahari superior, dos blocos exploráveis evitando desta forma a diluição do teor), dando assim maior consistência ao terreno permitindo que este possa suportar o peso do equipamento, evitando deste modo o atolamento dos mesmos.

É sabido que o estéril e o cascalho submetidos a enormes pressões e compactação, durante milhares de anos, vão apresentar um volume in situ, diferente do volume empolado,

uma vez desagregado e solto. Por outro lado, existe a tendência de diluir o volume de minério, estéril ou rocha base. Durante esta etapa serão por isso, utilizados os seguintes factores denominados:

- Factores de Empolamento do cascalho, de 1,4 para os blocos de colina e terraço e de 1,3 para os blocos de lezíria e desvios de rio;
- Factores de diluição, de 0,2 m para os blocos de lezíria e desvios de rio e de 0,3 m para os blocos de colina e terraço;

A Figura 4. 14 ilustra como é feita a limpeza da rocha base para a extração do cascalho.

Figura 4. 14 - Limpeza da rocha base para a extração de mineiro num bloco de terraço.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

A limpeza da rocha base tem sido feito com um acompanhamento muito cuidadoso, para evitar que haja perca de diamantes de grandes dimensões, bem como a diluição do teor caso se mande volume excessivo de rocha, para as unidades de tratamento. Por esta razão, são clarificados periodicamente aos operadores que executam esta importante tarefa, que devido a densidade do diamante, há uma tendência das pedras grandes concentrarem-se na rocha base do cascalho, junto ou nas fissuras da rocha base. Para este efeito, consideramos a contratação de operadores de rocha base que poderão usar pás e picaretas, barra minas ou ainda bombas de sucção e limpeza, de modo a impulsionarem a eficiência deste trabalho.

4.7.5. Carregamento e Transporte de Minério

Para a extracção, carregamento e transporte do minério, utilizou-se dois tipos de equipamentos, isto durante o ano de 2020. As escavadoras para a extracção e carregamento dos camiões do tipo Sinotruk nos depósitos de terraços e colinas, bem como os camiões articulados. Durante aquele ano, foram extraídos e estocados no Stockpile cerca de 40.000 m^3 de cascalho, como ilustra a Figura 4. 15, transporte e depósito do minério no stockpile.

Figura 4. 15 - Transporte (A) e depósito do minério no stockpile (B).

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

4.8. CENTRAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIO

Depois do minério bruto ser extraído, o mesmo não apresenta as devidas características para ser inserido no mercado, sendo assim o minério bruto é encaminhado a central de tratamento. Segundo o Código Mineiro de Angola (2011), o minério bruto é submetido a conjunto de operações que têm como objectivo tornar-lo, um produto utilizável ou rendável no mercado, a este processo denominamos Tratamento de Minério.

De acordo com o jazigo, a Direcção da Cooperativa sentiu-se obrigada a investir na implantação e ampliação de duas unidades de Pré-tratamento, a fim de atender a demanda de minério bruto que se estima extrair. Como ilustra a Figura 4. 16, duas unidades (A e B) de Pré-tratamento e recuperação de diamantes.

Figura 4. 16 - Unidades de pré-tratamento e recuperação de diamantes. (A) de meio denso e (B) com máquina de Flow Sort.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Estas unidades de Pré-tratamento de minério diamantífero de origem aluvionar, foram instalados próximos aos blocos em exploração, visando deste modo a redução dos custos de transporte de minério. Como mostra a Figura 4. 17, as duas unidades são móveis do tipo MB70 TPH, já operacionais, trabalhando dois turnos de 8 horas cada, com a capacidade de tratamento de cascalho próximo de 43 m^3/hora cada e um sistema de concentração por meio denso - DMS 250" (já montado) com a capacidade de tratar 25m^3 de grão/hora.

A operação de tratamento de minério, tem como objectivo a obtenção do produto final que é o diamante, após uma série sequencial de separações (granulométrica, densimétrica e pelo sistema "Flow Sort" de RX). Foi adquirido um Stock de 3 Toneladas de Ferro Silício, para o inicio do processo de tratamento de minério, já armazenado na Cooperativa, a fim de proporcionar maior operacionalidade neste processo.

Figura 4. 17 - Unidades de pré-tratamento e recuperação de diamantes.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

As principais fonte de produção e abastecimento de energia eléctrica as unidades de pré-tratamento, são: 4 (quatro)- Geradores Caterpilar de 500, 450, 250 Kva; 2 (dois)- Geradores Perkins 200 Kva e 75 Kva; 1 (um)- John Deere de 45 Kva e 4 (quatro)- Tanques de combustível com a capacidade total de 140.000 litros. A Figura 4. 18, ilustra um gerador e seus equipamentos auxiliares e a Figura 4. 19, apresenta um dos tanques de combustíveis utilizados na mina.

Figura 4. 18 - Geradores e seus equipamentos auxiliares.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Figura 4. 19 - Tanque de combustível.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

❖ **Capacidade das Unidades de Pré-tratamentos.**

As duas unidades de pré-tratamento, actualmente em funcionamento, trabalham 365 dias por ano com paragens para a manutenção. Sendo relevantes os seguintes dados para o cálculo da produtividade:

- Regime diário – dois turnos de 8 horas cada;
- Paragens para a manutenção – 30 dias (720 horas) por ano;
- Horas de trabalho por ano – 5840 horas.

De acordo com este regime de trabalho, segundo Lemos (2009), a capacidade das unidades de tratamento pode ser calculada utilizando a equação 4.5:

$$Q_h = \frac{Q_a}{N} \times (1 - S) \times K_i \ \ t/h \qquad \textit{Equação (4.5).}$$

Onde: *Qa* – é a produtividade anual máxima da central com o minério úmido, t;
Qh – é a produtividade horária com o minério seco, t/h;
N – é o tempo completo de trabalho da central, horas por ano;
S – é a umidade do minério, (parcelas de unidade) – 0,13;
Ki – é o coeficiente de irregularidade, que leva em consideração as propriedades do minério, a distância da mina, as condições climáticas e o aumento da produtividade da central – 0,98.
Em conjunto, as unidades de pré-tratamento de minério têm uma capacidade de produção anual de 0,299 milhões de toneladas.

$$Q_h = \frac{299.576{,}91}{5840} \times (1 - 0{,}13) \times 0{,}98 = \mathbf{43{,}74 \ \ t/h}.$$

A capacidade horária de tratamento de minério para as duas unidades actualmente em funcionamento, considerando o possível aumento de produtividade, deverá ser de 43,74 t/h, ou seja, 699,84 t/dia.

4.9. PRODUTIVIDADE DOS EQUIPAMENTOS DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE PARA ATENDER A CAPACIDADE DAS UNIDADES DE TRATAMENTO

Para maximizar a produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte, consequentemente da mina, é necessário que os equipamentos sejam compatíveis com o jazigo e que os equipamentos selecionados estejam ajustados às demais operações unitárias de lavra e de beneficiamento.

4.9.1. Produtividade dos Equipamentos de Carregamento (escavadoras) de Massa Mineira

A produção horária de uma escavadora, é a quantidade de material ou volume que o mesmo carrega ou transporta durante um período de tempo (JOÃO, 2023).

A Tabela 4. 11, apresenta os valores dos indicadores de produtividade utilizados na cooperativa, nomeadamente: capacidade do balde, factor de empolamento, factor de

enchimento, disponibilidade do equipamento, habilidade do operador e a eficiência de trabalho.

Tabela 4. 11 - Indicadores de produtividade dos equipamentos de carga.

Equipamento de carga	Cap.Balde (m^3)	Factor Empol	Factor Enchim. (%)	Disponib. (%)	Habilidade (%)	Eficiência de trabalho (%)
Cat320	1,56	1.2	85	89.38	90	80
Cat 330	2,35	1.2	85	84.25	90	80
PC- Komatsu 450	2,23	1.2	85	85.96	90	80

Fonte: Autor, 2024.

Substituindo os dados na fórmula abaixo, obtem-se os seguintes valores para a produtividade dos equipamentos de carga da Cooperativa, apresentada na tabela 4.12.

$$P_h = \frac{60'}{T_{ciclo}} \times \frac{Q_{co} \times K \times D_{isp} \times H_{ab} \times E}{Fe}$$

- **Escavadora para Extracção do Minério**

O tempo de ciclo da escavadora para a extracção é de 0,32 minutos, sendo assim como exemplo, calculou-se a produtividade horária e anual da escavadora Cat320, ilustrada abaixo:

$$P_h = \frac{60'}{T_{ciclo}} \times \frac{Q_{co} \times K \times D_{isp} \times H_{ab} \times E}{Fe}$$

$$P_h = \frac{60'}{0{,}32'} \times \frac{1{,}56 \times 0{,}85 \times 0{,}89 \times 0{,}9 \times 0{,}8}{1{,}2} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P_h = 132{,}77\ m^3/h.}$$

Sendo que a operacionalização das carregadoras ocorre durante 2 turnos de cada 8 horas, fazendo um total de horas trabalhadas por dia de 16h/dia. Sabendo que os dias de trabalho são de 365 dias/ano, as horas/ano será de 5840 h/ano (16h/d×365d/ano). Assim sendo, a produção anual das escavadeiras será:

$$P_a = P_h \times 16h\ /\ dia \times 365dia\ /\ ano$$

$$P_a = 132{,}77\ m^3/h \times 16h/dia \times 365dia/ano \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P_a = 775.376{,}8\ m^3/ano.}$$

A Tabela 4. 12, ilusta a estimativa de produção anual de minério das unidades de carregamentos.

Tabela 4. 12 - Produção anual de minério das unidades de carregamento.

Equipamento de carga	Produt/hora (m^3/h)	Horas/Ano	Unidades	Produt/ano (m^3/ano)	Peso Operacional (Kg)	Potência do Motor (Kw)	Veloc. Máxim. (Km/h)
Cat320	132,77	5840	1	775.376,8	22.300	109	5,4
Cat 330	184,27	5840	1	1.076.136,8	30.115	151	5,3
PC- Komatsu 450	183,39	5840	1	1.070.997,6	35.902	145	5,5
TOTAL	**500,43**	.....	**3**	**2.922.511,2**	.....	.....	.....

Fonte: Autor, 2024.

Sendo que a Escavadora Cat320, apresenta uma produção horária de minério de 132,77 m^3, em 2 turnos (cada turno, 8 horas), que é amplamente superior a produção horária de minério de 27,1415 m^3/h e anual de 158.506,3 m^3. Portanto, isto significa que a quantidade requerida de minério (horária e anual), pode ser produzida em apenas um turno de 8 horas.

- **Escavadora para Remoção de Estéril**

O tempo de ciclo da escavadora para a remoção de estéril é de 0,42 minutos, sendo assim como exemplo, calculou-se a produtividade horária e anual da escavadora Cat320, ilustrada abaixo:

$$P_h = \frac{60'}{T_{ciclo}} \times \frac{Q_{co} \times K \times D_{isp} \times H_{ab} \times E}{Fe}$$

$$P_h = \frac{60'}{0{,}42'} \times \frac{1{,}56 \times 0{,}85 \times 0{,}89 \times 0{,}9 \times 0{,}8}{1{,}2} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P_h = 101{,}15\, m^3/h}.$$

Sendo que a operacionalização das escavadoras ocorre durante 2 turnos de cada 8 horas, fazendo um total de horas trabalhadas por dia de 16h/dia. Sabendo que os dias de trabalho são de 365 dias/ano, as horas/ano será de 5840 h/ano (16h/d×365d/ano). Assim sendo, a produção anual das escavadeiras será:

$$P_a = P_h \times 16h\ /\ dia \times 365 dia\ /\ ano$$

$$P_a = 101{,}15\, m^3/h \times 16h/dia \times 365 dia/ano \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P_a = 590.716\ \ m^3/ano}.$$

A Tabela 4. 13, ilusta a estimativa de produção anual de estéril das unidades de carregamentos.

Tabela 4. 13 - Produção anual de estéril das unidades de carregamento.

Equipamento de carga	Produt/hora (m^3/h)	Horas/Ano	Unidades	Produt/ano (m^3/ano)
Cat320	101,15	5840	1	590.716,0
Cat 330	152,38	5840	1	889.899,2
PC- Komatsu 450	144,6	5840	1	844.461,50
TOTAL	**398,13**	**.....**	**3**	**2.325.076,7**

Fonte: Autor, 2024.

Sendo que a Escavadora Cat330, apresenta a maior produtividade entre as outras escavadoras, tendo uma produção horária de estéril de 152,38 m^3 e anual de 889.899,2 m^3, escolheu-se este equipamento para fazer a romação de estéril, porque apresenta a capacidade para atender a produção horária de estéril de 783,575 m^3 e anual de 4.576.078,3 m^3 requerida de material empolado. Todavia com uma única escavadora Cat330, seria impossível atender efecientemente a produção de estéril, por isso deve-se obrigatoriamente determinar o número de unidades de escavadoras Cat 330.

Conforme Lemos(2009), o número de unidades de escavadoras, é dado pelo quociente da produção total anual requerida de estéril sobre a produção anual possível de uma unidade, ou seja:

$$N_{esc} = \frac{Produção\ anual\ requerida\ de\ estéril\ empolado\ (m^3)}{Produção\ anual\ da\ Escavadeira\ Cat330\ \ (m^3)}$$

$$N_{esc} = \frac{4.576.078{,}3\ m^3}{889.899{,}2\ \ m^3} \quad \Rightarrow \quad N_{esc} = 5{,}14 \approx 5\ unidades\ Cat330$$

Porém para diminuir os custos de investimentos com escavadoras Cat330 para atender a produção de estéril anual, convém utilizar escavadoras Cat 345C, sendo que apresenta uma capacidade do balde de 3,6 m^3, e considerando os dados de 0,42 minutos para o tempo de ciclo de carregamento e outros dados encontrados na Tabela 4. 12, tem-se produtividade horária de 233,43 m^3 e anual de 1.363.231,2 m^3. Sendo assim as unidades das escavadoras Cat 345C necessárias para remover a quantidade de estéril pretendida é determina:

$$N_{esc} = \frac{Produção\ anual\ requerida\ de\ estéril\ empolado\ (m^3)}{Produção\ anual\ da\ Escavadeira\ Cat345C\ \ (m^3)}$$

$$N_{esc} = \frac{4.576.078{,}3\ m^3}{1.363.231{,}2\ m^3} \quad \Rightarrow \quad N_{esc} = 3{,}3 \approx 3\ unidades\ Cat345C$$

4.9.2. Produtividade dos Equipamentos de Transporte (camiões) de Massa Mineira

Dadas as premissas já mencionadas anteriormente, para definir as quantidades de massas (minério e estéril) movimentadas por ano, o porte dos blocos, as características do minério e estéril e o sistema de carregamento, bem como a produção do sistema de carregamento, resta determinar a produção do sistema de transporte por camiões:

- **Camião para o Transporte de Minério**

Na cooperativa tem sido utilizado os camiões Volvo A25F de capacidade 15 m^3 para o transporte de minério, combinado com a escavadora Cat 320 de capacidade 1,56 m^3 que leva 0,32 minutos para carregar o camião e 0,42 minutos para encher o camião Volvo A30F de 17,5 m^3 de capacidade. Para o transporte de minério, a estratégia adaptada mantém-se de localizar o mais possível as lavarias à distância das frentes de escavação não excedendo 3 km.

A Tabela 4. 14, apresenta as características dos camiões que são utilizados para o transporte de minério.

Tabela 4. 14 - Características dos camiões usados para o transporte de minério.

CARACTERÍSTICAS	VOLVO A25F	VOLVO A30F
Capacidade do Balde, em m^3	15	17,5
Veloc. Carregado (V_1), em *Km/h*	42	46
Veloc. Vazio (V_2), em *Km/h*	53	54
Peso Operacional, em *kg*	46.400	51.500
Potência, em *KW*	235	266
Disponibilidade, %	90	90
Habilidade do operador, %	85	85
Eficiência de Trabalho, %	80	80

Fonte:Autor, 2024.

Sendo que um conjunto de actividades realizam-se em tempo de ciclo determinado, a distância de transporte de minério não deve ser acima de 3 Km. Devido avaliação dos equipamentos que operam na mesma e melhoria contínua da produção, optou-se numa distância de transporte de minério de 600 metros. Portanto, as equações abaixo e os resultados de mostrados na Tabela 4. 15 e Gráfico 4. 1.

$$t_{ciclo} = t_{carr} + t_{v.carre} + t_d + t_{re.vaz} + t_{m.esp}$$

$$n = \frac{Capacidade\ do\ Camião\ (m^3)}{\text{Capacidade da escavadeira } (m^3)}$$

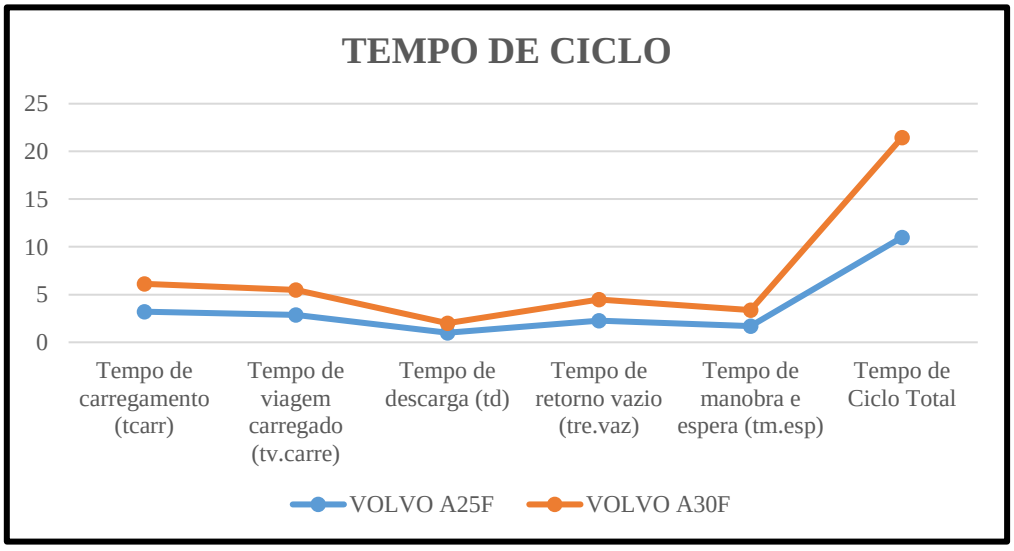
$$t_{carr} = n \times t_{ciclo.c} \quad (29.1); \qquad t_{v.carre} = \frac{D}{V_1} \quad (29.2); \qquad t_{re.vaz} = \frac{D}{V_2} \quad (29.3).$$

Tabela 4. 15 - Tempo de ciclo dos camiões usados para o transporte de minério.

TEMPO DE CICLO (*min*)	VOLVO A25F	VOLVO A30F
Tempo de carregamento (t_{carr})	3,2	2,94
Tempo de viagem carregado ($t_{v.carre}$)	2,86	2,61
Tempo de descarga (t_d)	1	1
Tempo de retorno vazio ($t_{re.vaz}$)	2,26	2,22
Tempo de manobra e espera ($t_{m.esp}$)	1,68	1,68
Tempo de Ciclo Total	**11**	**10,45**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 4. 1 - Tempo médio de ciclo dos equipamentos de transporte de minério na cooperativa de Luxinene.



Fonte: Autor, 2024.

A produtividade de um camião em metros cúbicos por hora e toneladas por hora, são determinados, utilizando as equações 4.6 e 4.7:

$P_{h-transp} = (\frac{60}{t_{cc}}) \times C \times ef$, em m^3/hora; *Equação (4.6).*

$P_{h-transp}' = P_{h-transp} \times \gamma_{min.emp}$, em tons/hora. *Equação (4.7)*

Sendo que a operacionalização dos camiões ocorre durante 2 turnos de cada 8 horas, fazendo um total de 16 horas/dia. Sabendo que os dias de trabalho são de 365 dias/ano, as horas/ano será de 5840 h/ano (16h/d×365d/ano). Assim sendo, a produção anual dos camiões em metros cúbicos por ano e toneladas por ano, como mostra a Tabela 4. 16, são determinados, utilizando as equações 4.8 e 4.9:

$P_a = P_{h-transp} \times 16h\ /\ dia \times 365dia\ /\ ano$, em m^3/ano; *Equação (4.8).*

$P_a = P_{h-transp}' \times 16h\ /\ dia \times 365dia\ /\ ano$, em tons/ano. *Equação (4.9).*

Tabela 4. 16 - Produtividade teórica dos camiões escolhidos para fazer o transporte de minério.

CÁLCULO DE PRODUÇÃO DOS CAMIÕES POR HORA E POR ANO				
MODELO	**Metros cúbicos/Hora**	**Metros cúbicos/Ano**	**Toneladas/hora**	**Toneladas/ano**
Volvo A25F	65,45	382.228	123,7	722.408
Volvo A30F	80,38	469.419,2	151,92	887.212,8

Fonte: Autor, 2024.

- **Camião para o Transporte de Estéril**

Como já mencionou, para a remoção da massa de estéril não é aconselhável utilizar a escavadora Cat330, porque para atender a produção anual de estéril, serão necessários 5 unidades, isto obrigaria um alto investimento para aquisição e manutenção das frotas destes equipamentos. Por isso, para diminuir tais investimentos, escolheu-se as escavadoras Cat 345C de capacidade do balde de 3,6 m^3 e considerando 0,42 minutos para o tempo de ciclo da Cat 345C.

A escavadora Cat 345C vai carregar um camião Cat740 de capacidade coroada de 19,7 m^3, o método estratégico para remover a massa de estéril é de tiras, consistindo em realizar cortes sucessivas (descobertura de estéril seguida da extracção do minério) e enchendo o(s) corte(s) anteriormente explorado(s) pelo estéril de descobertura de corte(s) posterior(es). A largura destes cortes será de 10 a 15 m e um comprimento de 80 a 200 m em função da configuração dos blocos. O objectivo será de manter a distância global das frentes de escavação até os pontos de descarga (minério) a uma média não excedendo 600

metros. Todavia, adoptou-se uma distância média de transporte de estéril de 1 km para a escombreira, para providenciar uma margem.

Baseando-se na equação 1.17, para calcular o tempo de ciclo e a produtividade do camião de modelo Cat 740, a Tabela 4. 17 e Tabela 4. 18 apresentam os resultados obtidos, e analisados no Gráfico 4. 2. A Produtividade Teórica do camião Cat 740 para o transporte de estéril, é apresentado na Tabela 4. 19.

Tabela 4. 17 – Características do camião CAT 740, para o transporte de estéril.

CARACTERÍSTICAS	CAT 740
Capacidade do Balde, em m^3	19,7
Veloc. Carregado (V_1), em *Km/h*	32
Veloc. Vazio (V_2), em *Km/h*	42
Peso Operacional, em *kg*	73.600
Potência, em *KW*	370
Disponibilidade, %	90
Habilidade do operador, %	85
Eficiência de Trabalho, %	80

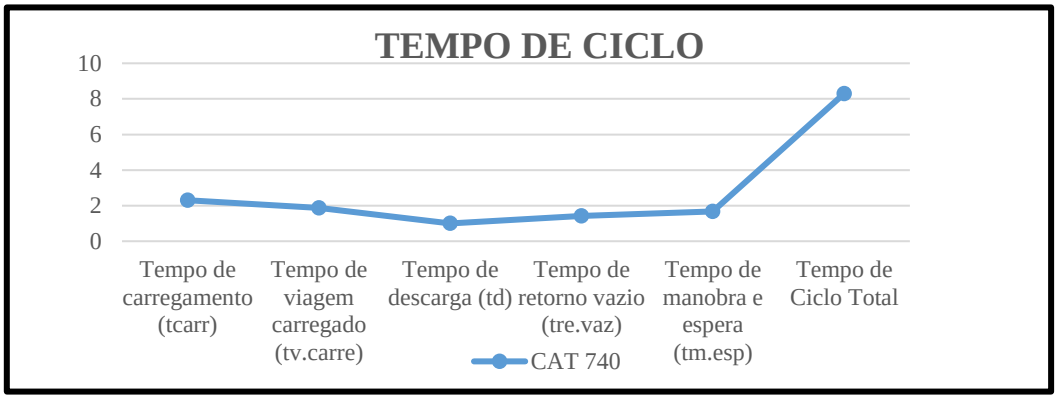
Fonte: Autor, 2024.

Tabela 4. 18 - Tempo de ciclo do camião Cat 740, para o transporte de estéril.

TEMPO DE CICLO (*min*)	CAT 740
Tempo de carregamento (t_{carr})	2,3
Tempo de viagem carregado ($t_{v.carre}$)	1,88
Tempo de descarga (t_d)	1
Tempo de retorno vazio ($t_{re.vaz}$)	1,43
Tempo de manobra e espera ($t_{m.esp}$)	1,68
Tempo de Ciclo Total	**8,3**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 4. 2 - Tempo médio de ciclo do camião Cat 740.



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 4. 19 - Produtividade teórica do camião escolhido para fazer o transporte de estéril.

CÁLCULO DE PRODUÇÃO DO CAMIÃO POR HORA E POR ANO				
MODELO	**Metros cúbicos/Hora**	**Metros cúbicos/Ano**	**Toneladas/hora**	**Toneladas/ano**
Cat 740	135,09	788.925,6	229,653	1.341.173,52

Fonte: Autor, 2024.

Sendo que são necessariamente 4.576.078,3 m^3, isto é 7.779.333,11 toneladas/ano de estéril que deve ser removido para a remoção de estéril, e com apenas um camião Cat 740 seria necessários pelo menos 5 turnos de 8horas, claro que isto causaria a ociosidade do equipamento, e isto aumentaria os custos de manutenção e consequentemente a mina não produziria de forma eficiente. Deste modo, determina-se a quantidade de camiões Cat 740 para atender a quantidade de massa de estéril que pretende-se remover, utilizando a equação 4.10:

$$N_{Cam} = \frac{Produção\ anual\ requerida\ de\ estéril\ empolado\ (tons)}{Produção\ anual\ do\ Camião\ Cat\ 740\ \ (tons)} \qquad \textit{Equação (4.10).}$$

$$N_{Cam} = \frac{7.779.333,11\ tons}{1.341.173,52\ \ tons} \quad \Rightarrow \quad N_{Cam} = 5,8 \approx \mathbf{6\ Camiões\ Cat\ 740}.$$

❖ **Importância e produtividade da Bulldozer na Cooperativa**

As bulldozeres são sempre utilizadas na mineração a céu aberto, na preparação da área, para posterior operacionalização das escavadoras. Portanto, o trabalho de uma bulldozer numa mina deste tamanho, abrange as seguintes funções:

- Empurrar e nivelar os montes nas escombreiras;
- Limpeza das frentes de escavação;
- Outros trabalhos de apoio à produção, nomeadamente abertura de acessos, empurro ou tracção diversa, etc.

Diante disto, escolheu-se uma bulldozer Cat D8R trabalhando em condições de 15 m da beira da escombreira a uma produtividade de 900 m^3/h. A equação 4.11, permite determinar a produtividade anual do tracto.

$$P_{a.Trat} = C \times RH \times L \times dias \times meses \qquad \textit{Equação (4.11).}$$

Onde:

C – capacidade da Bulldozer, em m^3/h; RH – Rendimento Horário da Máquina;
L – Largura da área de trabalho, m.

Considera, 16 m da largura da lâmina, 26 dias de trabalho/mês, 12 meses/ano e um rendimento horário de 40 minutos/hora, deste modo a produtividade anual do trator de esteira será:

$$P_{a.Trat} = 900 \times \frac{40'}{60'} \times 16 \times 26 \times 12$$

$$P_{a.Trat} = 2.995.200\, m^3/ano\ (\mathbf{65,5\%\ do\ total\ de\ estéril}).$$

Para preparar a área de extracção de cascalho (minério), é necessário remover cerca de **4.576.078,3 m^3** de estéril anualmente. Para este trabalho, com uma Bulldozer Cat D8R, que apresenta uma produtividade anual de acerca de **2.995.200 m^3**, para serviços de limpeza da área, fragmentação primária (abrindo fendas) e transporte (do material em curta distância), com este equipamento é possível remover 65,5% de total de estéril por ano.

Com uma segunda unidade (Bulldozer Cat D6T), de capacidade 425 m^3, com uma produção anual de 1.414.400 m^3 de estéril, com isso restará 166.478,3 m^3 de estéril a trabalhar o que faz com a Bulldozer Cat D6T operará 2 turnos e mais 2 horas por dia para completar os restantes 166.478,3 m^3 (representando os outros 35,5% de estéril), e totalizando 468 horas por mês e 5.616 horas de trabalho efectivo por ano.

❖ **Produtividade da Motoniveladora**

Os serviços de terraplenagem ou movimento de terras para melhor circulação dos camiões (estéril e minério) na concessão de estudo, tem sido feito essencialmente por motoniveladora de modelo Cat140K, para assegurar todos os trabalhos de nivelamento das estradas no conjunto da concessão. Segundo Alves (2021), para trabalhos de terraplanagem a produtividade de uma motoniveladora calcula-se como mostra a equação 4.12.

$$P = \frac{60 \times e \times L \times v \times F_e}{n} \qquad \textit{Equação (4.12).}$$

Onde: P – Produtividade, em m^3/h;
E – Extensão da área trabalhada pelo o equipamento, em m;
L – Largura útil da lâmina do equipamento, em m;
v – Velocidade do equipamento, em m/s;
n – Número de passadas.

Os parâmetros de cálculo considerado, são: Extensão da área de trabalho de 80 m, largura útil da lâmina de 3,6 m, factor de efiência de 0,8, velocidade de 12,5 m/s e número de passadas de 6.

$$P = \frac{60 \times 80 \times 3{,}6 \times 10{,}5 \times 0{,}8}{6} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P = 24.192\ m^3/h.}$$

4.9.3. Determinação das Unidades dos Equipamentos para Operar na Cooperativa

A Tabela 4. 20, ilustra resumidamente a quantidade de frota que poderia ser alinhada para operar na mina deste tamanho. Esta frota foi seleccionada com base no acoplamento de camiões articulados a escavadoras para os requisitos de carregamento e transporte. De notar que na escolha global, considerou-se a utilização somente de 2 turnos de alguns equipamentos.

Tabela 4. 20 - Frota que poderia ser dimensionado na mina.

LISTA DE EQUIPAMENTOS DA FROTA PRIMÁRIA		
TIPO	**ESPECIFICAÇÃO**	**QUANTIDADE**
Escavadeira hidráulica	CAT 320	1
Escavadeira hidráulica	CAT 345 D	3
Carregadora frontal	CAT 966H	1
Camião fora de estrada articulado	CAT 725	2
Camião fora de estrada artic. ou rígido	CAT 740	6
Tractor bulldozer	CAT D8R	2
Motoniveladora	CAT 140K	1
Camião de logística	UNIMOG	1
Veículos todo terreno (carrinhas)	Toyota HILUX	3
Veículos todo terreno	Land Cruiser	3
Iluminação	Torres	.....
Grupo gerador de energia 375 KVA	.....	**1**
Grupo gerador de energia 250 KVA	.....	1
Grupo gerador de energia 200 KVA	.....	1
Grupo gerador de energia 30 KVA	.....	1

Fonte: Autor, 2024.

4.9.4. Análise da Compatibilidade entre as Escavadoras e os Camiões

A compatibilidade entre os equipamentos que carregam (carregadoras ou escavadoras) e os que transportam (camiões), é muito importante porque tem uma influencia directa no tempo de ciclo das operações de carregamento e transporte, na produtividade dos equipamentos, ilustrada na Tabela 4. 21 e Gráfico 4. 3. Por sua vez, a combinação adequada de uma escavadora e um camião é feita considerando sempre o menor número de passes (n) possíveis que a escavadora necessita para carregar completamente um camião, desta forma o número de passes é expressa pela razão entre a capacidade volumétrica do camião (m^3) e a capacidade volumétrica da escavadora (m^3), como ilustra a equação 4.13.

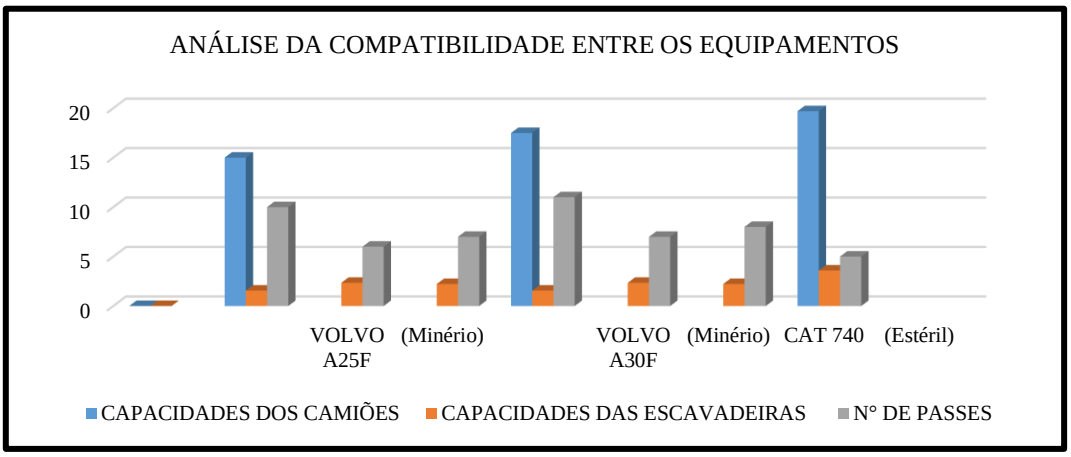
$$n = \frac{Capacidade\ do\ Camião\ (m^3)}{\text{Capacidade da escavadora } (m^3)} \qquad \textit{Equação (4.13).}$$

Tabela 4. 21 - Números de passes por ciclo entre as escavadoras e os camiões.

CAMIÕES	CAPACIDADES (m^3)	ESCAVADORAS	CAPACIDADES (m^3)	N° DE PASSES
VOLVO A25F (Minério)	15	CAT 320	1,56	10
		CAT 330	2,35	6
		PC- Komatsu 450	2,23	7
VOLVO A30F (Minério)	17,5	CAT 320	1,56	11
		CAT 330	2,35	7
		PC- Komatsu 450	2,23	8
CAT 740 (Estéril)	19,7	**CAT 345C**	3,6	**5**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 4. 3 - Análise de compatibilidade entre os equipamentos.



Fonte: Autor, 2024.

Para o transporte de minério a melhor compatibilidade seria entre o camião Volvo A30F e a escavadora Cat 330, porque esta junção apresentará maior produtividade anual do que outras junções de camiões e escavadoras. Para o transporte de estéril a melhor compatibilidade seria entre camiões Cat 740 e escavadoras Cat 345C, porque se forem dimensionadas, doravante apresentarão produtividade próxima do estabelecido anualmente.

Nesta conformidade, é necessário estimar o número de ciclos por hora que os equipamentos vão efectuar de modo a realizar a produção horária estimada. Desta forma o número de ciclo é determinado utilizando a equação 4.14, segundo Moreira (2018):

$$\text{N° de Ciclos por Hora} = \frac{60'}{t_{ciclo}} \qquad \textit{Equação (4.14).}$$

A Tabela 4. 22, ilustra a o número de ciclo por hora requiridas para atender a produtividade horária estimada.

Tabela 4. 22 - Número de ciclo por hora dos equipamentos (escavadoras e camiões).

Equipamentos		Tempo de Ciclo (min)	N° de Ciclos por Hora
Escavadoras	Cat 320	0,32	188
	Cat330	0,42	143
	Pc-Komatsu 450	0,42	143
	Cat 345C	0,42	143
Camiões	Volvo A25F	11	6
	Volvo A30F	11	6
	Cat 740	7	9

Fonte: Autor, 2024.

Portanto, serão necessários 188 ciclos por hora para a escavadora Cat 320 carregar 132,77 metros cúbicos de minério por hora, 143 ciclos por hora para a escavadora Cat 330 carregar 152,38 metros cúbicos de estéril por hora, 143 ciclos por hora para a escavadora Cat 345C carregar 233,43 metros cúbicos de estéril por hora.

Portanto, serão necessários 6 ciclos por hora para o camião Volvo A25F transportar 123,7 toneladas de minério por hora e o camião Volvo A30F transportar 151,92 toneladas de minério por hora. Para o camião Cat 740 serão necessários 9 ciclos para transportar 229,653 toneladas de massa de estéril por hora.

4.10. ESTRADAS DE RODAGEM DA MINA

O transporte de minério e estéril por camião em uma mina a céu aberto somente ocorre quando os factores auxiliares (estradas) encontram-se em bons estados de conversação, ligando os principais centros da mina, nomeadamente centrais de tratamento, cava óptima da mina, os blocos explorados, britadeira primária, etc. As estradas de rodagem devem apresentar boas condições de modo a permitir a fácil operacionalização e consequentemente bom rendimento dos equipamentos de transporte. A Tabela 4. 23 apresenta os índices a considerar na construção das estradas.

A abertura das vias de acessos para os blocos tem sido feito com máquina Bulldozer Cat D6R, para sua conservação e manutenção, tem sido utilizada a Motoniveladora Cat 140H e o Cilindro compactador, para aplanar e compactar os acessos, evitando maior desgaste de pneus, dos camiões de transportes e viaturas de apoio.

Os acessos têm uma largura considerável, boa visibilidade e, colocar-se-à a devida sinalização, aumentando a segurança e prevenindo desta forma a ocorrência de acidentes. Durante o tempo seco para evitar-se poeiras excessivas, dever-se-á irrigar os acessos, utilizando um camião cisterna de água. A Figura 4. 20, apresenta a preparação de uma via de acesso para circulação de camiões.

Figura 4. 20 - Preparação de via de acesso para um bloco, utilizando Bulldozer.

Fonte: Relatório da CML, 2019-2022.

Tabela 4. 23 - Índices a considerar na construção das estradas.

ÍNDICES	DIMENSÕES (m)
Largura	5,95
Largura da berma	1,75
Largura de beiras	1,68
Dique de solo orientador de altura	1

Fonte: Autor, 2024.

4.11. PREPARAÇÃO DOS BLOCOS PARA EXPLORAÇÃO E DRENAGEM DAS ÁGUAS

A preparação dos blocos a serem explorados, começou com os trabalhos desmatamento dos blocos demarcados, utilizando as máquinas Bulldozers existentes, tendo em conta a consistência do terreno, bem como a abertura dos drenos de protecção aos blocos, caso seja necessário.

É bem sabido que na região nordeste de Angola chove muito, e também as águas são frequentemente utilizados durante o processo mineiro proporcionando vantagens essenciais, como para o tratamento de minério, para irrigação das vias de acessos afim de diminuir a poeira, etc. Todavia, a presença de água nas actividades mineiras também impactam negativamente no projecto afectando a produtividade, isto só acontece quando não se constroi drenos ou quando as construções dos canais de drenagens são feitas incorrectamente e quando as vias de acessos da mina não apresentam inclinações ligeiras próprias para o escoamento dos fluxos de água.

Para resolver este problema foram feitas canais de drenagens que têm profundidade e largura suficientes para evacuar as águas pluviais. Nos blocos de lezíria dever-se-á também construir um dique de protecção, abrir uma trincheira preparatória e o canal de drenagem que terá uma bacia de retenção, onde serão acumuladas todas as águas para posterior bombagem.

De referir que os canais de drenagem terão uma profundidade de 30-50 centímetros na rocha base e uma largura de acordo com a quantidade de água a ser evacuada para o rio, são projectadas igualmente a instalação de algumas manilhas para permitir a drenagem das águas para a direcção apropriada.

4.12. RECURSOS HUMANOS

A direcção da Cooperativa, reconhece que o recurso humano é o activo principal nos factores de produção da actividade mineira, por isso tem implementado boas práticas de gestão de recursos humanos disponíveis.

A política de gestão centra-se na criação de condições de trabalho adequados, para permitir o bem estar, satisfação e desenvolvimento profissional de todos os trabalhadores. A Cooperativa tem aplicado métodos científicos de gestão e melhoria contínua do pessoal, primando pela formação técnica, para melhorar a qualidade e profissionalismo de todos seus colaboradores, de forma a garantir o desenvolvimento das tarefas que lhes forem atribuídas e exercé-las com alto nível de desempenho e eficiência. Actualmente a Cooperativa emprega 65 trabalhadores, a Tabela 4. 24, apresenta gênero e nacionalidade.

Tabela 4. 24 - Capital humano da mina.

GÊNERO	VALORES	NACIONALIDADE
Masculino	59	Angolana
Feminino	6	Angolana
Total	**65**	

Fonte: Autor, 2024.

Importante realçar que todos os trabalhadores são nacionais, estão registados no Instituto Nacional de Segurança Social, ao qual contribuem mensalmente para a caixa social.

- **Expectativas da Empresa Quanto a Força de Trabalho**

Tenciona aumentar progressivamente a força de trabalho, a empresa tem priorizado a mão de obra local e nacional, desde que reunam as condições técnicas e profissionais mínimas exigidas para o desempenho duma função. Isto surge da obrigação de cumprir com a legislação Angolana, segundo o Código Mineiro (2011), no Capítulo I, Secção II e Sub Secção I, no Artigo 18.º (Força de trabalho local), “Os titulares de direitos mineiros devem assegurar o emprego e a formação de técnicos e trabalhadores angolanos, preferencialmente dos que residirem nas áreas da concessão mineira”.

Poderão ser contractados alguns expatriados especialistas, para funções que requerem alta especialização, não disponíveis no mercado nacional, estes terão dupla missão:

1. Trabalhar com alto grau de qualidade e exigência, com total disponibilidade, cumprindo as leis que regem as relações laborais e constitucionais da República de Angola;
2. Obrigatoriamente devem transmitir conhecimentos aos quadros angolanos à sua disposição, de modo que doravante os profissionais angolanos na empresa possam se qualificar para resolver problemas de índole mineiro.

❖ **Regime de Trabalho**

A Cooperativa tem um regime de trabalho de 365 dias/ano, 7 dias por semana com 2 turnos de 8 horas de trabalho por dia, fazendo um total de horas trabalhadas por dia de 16h/dia. Sabendo que os dias de trabalho são de 365 dias/ano, as horas/ano será de 5840 h/ano (16h/d×365d/ano). Assim sendo, o regime de trabalho resultam em 5840 horas totais por ano.

4.13. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E PROTECÇÃO AMBIENTAL

A actividade mineira tem causados muitos impactos ambientais, influenciando negativamente no crescimento da biodiversidade. Diante desta situação qualquer projecto mineiro deve identificar os riscos e eventuais impactos ambientais que podem causar, consequentemente avaliá-los para prevenir, corrigir, mitigar tais impactos a quando da sua operação.

Decorrentes das actividades mineiras estão o desmatamento, alteração da superfície topográfica, da paisagem, a perda ou a degradação das camadas superficiais do solo, a instabilidade das encostas e terrenos em geral, alterações dos cursos de água e dos níveis do lençol freático, erosão e assoreamento.

Diante disto a Cooperativa tem feito trabalhos para fazer cumprir a legislação (Código Mineiro) em vigor, baseando-se no Capítulo IV que aborda acerca das "Responsabilidades dos Titulares dos Direitos Mineiros", na Secção III (Preservação do Ambiente), nos artigos 64.º (Regras de Protecção Ambiental) e 65.º (Avaliação do Impacte Ambiental).

Por isto, tem sido desenvolvedos acções concrectas que visam minimizar a degradação do ambiente, particularmente na poluição do ar, das águas dos solos e do

desmatamento excessivo. Este processo de Gestão Ambiental, tem como objectivo fazer a Avaliação do Impacte Ambiental (AIA), para aferir as incidências que a cooperativa causou ou causará ao ambiente.

Com base na legislação ambiental vigente no nosso país, no início da implementação da Cooperativa foi feito um Diagnóstico Ambiental, do meio físico, meio biológico e sócio-económico, para o conhecimento das condições ambientais actuais, existentes na área de concessão e circunvizinhanças. Tem sido elaborado e documentados Relatórios de Estudo de Impacte Ambiental periodicamente, fazendo cumprir a legislação por meio da identificação e avaliação dos impactos ambientais que serão gerados na fase de implementação e exploração da mina.

CAPÍTULO V – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISE DOS FACTORES DETERMINANTES NA PLANIFICAÇÃO

5.1.1. Relação Estéril/Minério

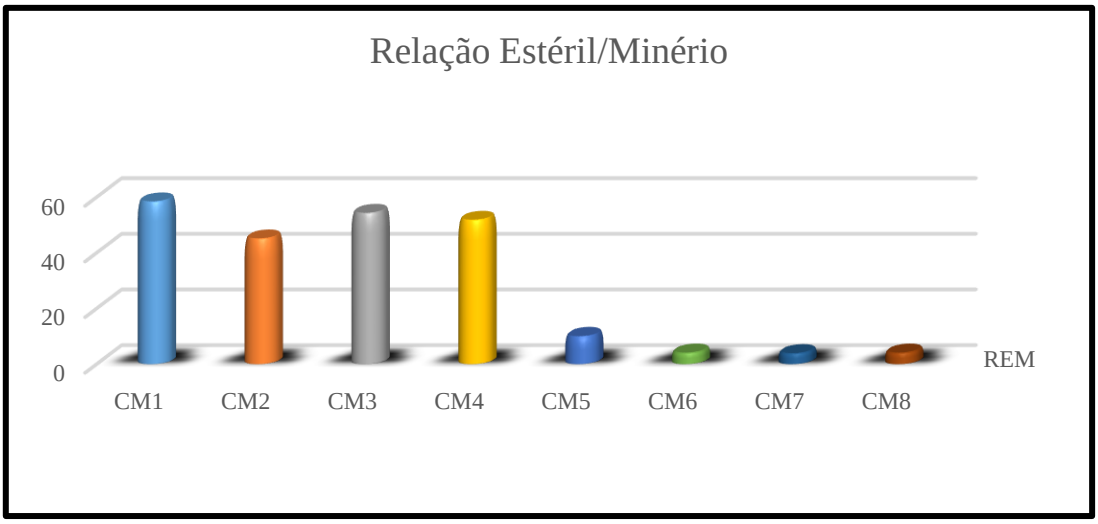
A relação Estéril/Minério é um parâmetro importante na determinação da sequência de lavra, pois permite saber quais dos blocos existentes no jazigo tem maior volume de estéril que deve ser removido. Desta forma, uma comparação exaustiva é feita entre os blocos identificados, como ilustra a Tabela 5. 1 e o Gráfico 5. 1.

Tabela 5. 1 - REM para definir os volumes movimentados nos blocos.

MASSA	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5	CM6	CM7	CM8
REM	**58,3**	**45**	**54,2**	**51,7**	**10**	**4**	**3,8**	**4**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 5. 1 - Análise da relação estéril/minério dos blocos.



Fonte: Autor, 2024.

Comparando os valores obtidos na REM, pode-se sucintamente verificar que os blocos que apresentam maiores REM são CM1, CM3, CM4 e CM2, nestes serão removidos maiores volumes de estéril para alcançar o cascalho. Nestes blocos haverá maior custo operacional porque necessitará frotas de maiores capacidades do que as existentes na cooperativa ou maior número de frotas de equipamentos, de modo que a produção anual requerida nos blocos sejam atendidas e consequente produção da vida útil da mina.

5.2. ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DOS EQUIPAMENTOS DURANTE A VIDA ÚTIL DA MINA

5.2.1. Análise da Produtividade das Escavadoras que Operam na Cooperativa

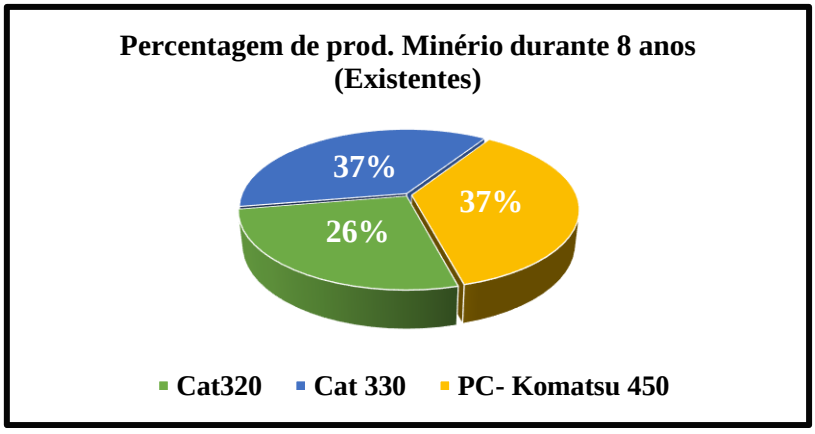
Os equipamentos de carregamento que operam na mina, durante a vida útil do projecto mineiro (8 anos), apresentarão produtividade total de 23.380.089,60 m^3 de minério, como ilustra a Tabela 5. 2. Para carregar nos camiões cerca de 158.506,3 m^3 de minério por ano e 1.268.050,4 m^3 durante 8 anos. O Gráfico 5. 2, apresenta a percentagem de produção de minério (durante 8 anos) das escavadoras que operam na mina.

Tabela 5. 2 - Estimativa da produção de minério das escavadoras usadas no projecto durante 8 anos.

Equipamento de carga	Produt/ano (m^3/ano)	Vida Útil da Mina 8 anos	Produtividade m^3 durante 8 anos
Cat320	775.376,80	8	6.203.014,40
Cat 330	1.076.136,80	8	8.609.094,40
PC- Komatsu 450	**1.070.997,60**	**8**	8.567.980,80
TOTAL	**2922511,2**	**8**	**23.380.089,60**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 5. 2 - Análise percentual das escavadoras que operam na cooperativa, durante os 8 anos.



Fonte: Autor, 2024.

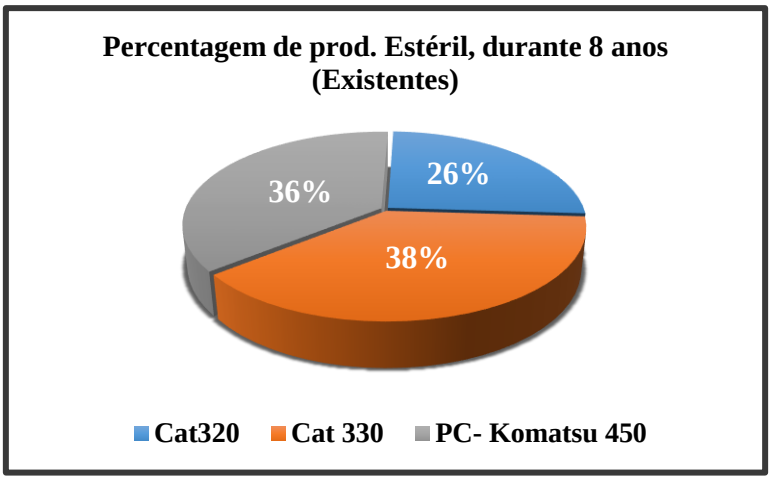
Se forem dimensionados os mesmos equipamentos para a remoção de estéril durante 8 anos, estes produzirão cerca de 18.600.613,6 m^3 de estéril, como ilustra a Tabela 5. 3. Para carregar nos camiões cerca de 4.957.418,16 m^3 de estéril por ano e 39.659.345,28 m^3 de estéril durante 8 anos. O Gráfico 5. 3, apresenta a percentagem de produção de estéril das escavadoras utilizadas na mina.

Tabela 5. 3 - Estimativa da produção de estéril das escavadoras usadas no projecto durante 8 anos.

Equipamento de carga	Produt/ano (m^3/ano)	Produt. durante 8 anos (m^3)
Cat320	590.716,00	4.725.728
Cat 330	889.899,20	7.119.193,60
PC- Komatsu 450	844.461,50	6.755.692
TOTAL	**2.325.076,7**	**18.600.613,60**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 5. 3 - Análise percentual das escavadoras que operam na cooperativa, durante os 8 anos.



Fonte: Autor, 2024.

Durante 8 anos, a podução de estéril destas escavadoras será duas vezes menores que a produção requerida. Portanto, para minimizar a ociosidade das escavadoras e reduzir a possibilidade de aumentar a frota de escavadoras para remoção de estéril, redimensionou-se a frota para a remoção de estéril utilizando uma escavadora Cat 345C, que apresentará a capacidade de remoção de estéril 1.363.231,2 m^3 anual e consequentemente 10.905.849,6 m^3 durante 8 anos.

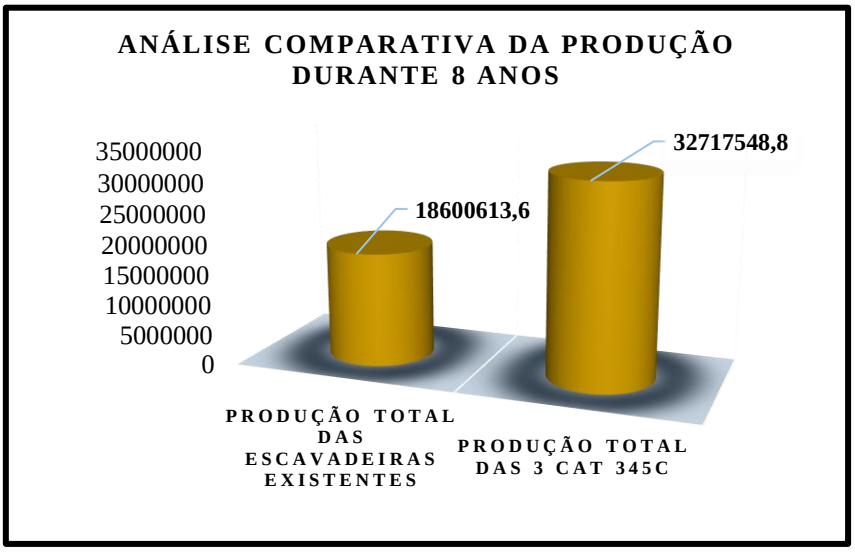
Então, utilizando 3 escavadoras Cat 345C a produtividade total será de 32.717.548,8 m^3, muito próxima da produção requerida de estéril de durante 8 anos que é de 39.659.345,28 m^3. Contudo, a remoção de estéril será mais eficiente de modo atingir o cascalho e consequente produção e satisfação da demanda. A Tabela 5. 4 e o Gráfico 5. 4, apresenta comparativamente os valores de produção das escavadoras existentes e das 3 escavadoras Cat 345C durante 8 anos.

Tabela 5. 4 - Comparação entre as escavadoras.

Comparação da produção	
Frotas	**Produção anual (m3/ano)**
Produção total das Escavadeiras existentes	2325076,7
Produção total das 3 Cat 345C	4089693,6

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 5. 4 - Ilustração gráfica da comparação entre as escavadoras.



Fonte: Autor, 2024.

Pode-se notar que durante 8 anos, as 3 Escavadoras Cat 345C apresentarão produtividade total muito próxima da produtividade requerida, e haverá redução dos custos operacionais.

5.2.2. Análise da Produtividade dos Camiões que Operam na Cooperativa

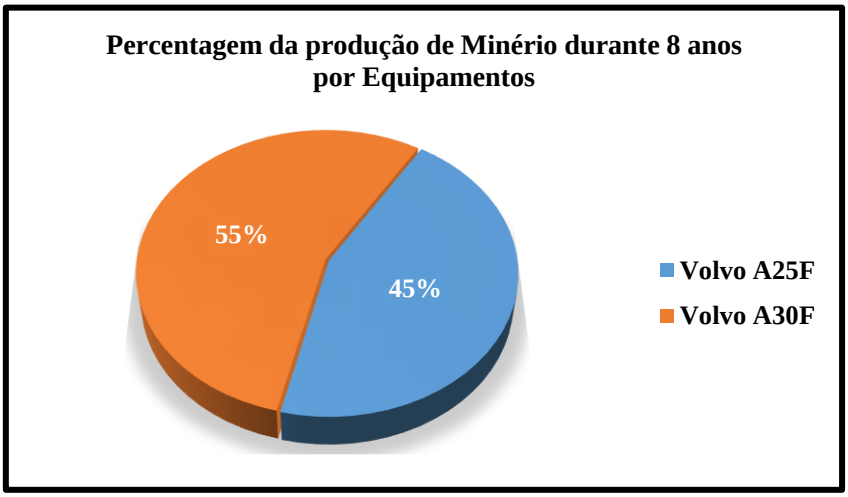
Os equipamentos de transporte (camiões) que operam na mina, durante a vida útil do projecto mineiro (8 anos), apresentarão uma produtividade total de cerca de 12.521.894,4 toneladas de minério, como ilustra a Tabela 5. 5, para transportar nas unidades de pré-tratamento e no stockpile cerca de 299.576,907 toneladas de minério por ano e 2.396.615,256 toneladas de minério durante 8 anos. O Gráfico 5. 5, presenta a percentagem de produção durante os 8 anos.

Tabela 5. 5 - Produtividade dos equipamentos que operam na mina.

CÁLCULO DE PRODUÇÃO DOS CAMIÕES POR HORA E POR ANO		
MODELO	**Toneladas/ano**	**Toneladas em 8 anos**
Volvo A25F	722.408,00	5779264
Volvo A30F	887.212,80	7097702,4
Total	**1.609.620,80**	**12876966,4**

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 5. 5 - Análise percentual dos camiões que transportam minério na cooperativa, durante os 8 anos.



Fonte: Autor, 2024.

Se porventura forem dimensionados 6 camiões Cat 740 para a remoção de estéril durante 8 anos, estes transportarão cerca de 64.376.328,96 toneladas de estéril, como ilustra a Tabela 5. 6. Para transportar cerca de 7.779.333,11 toneladas de estéril por ano e 62.234.664,88 toneladas de estéril durante 8 anos.

Tabela 5. 6 - Produtividade teórica dos 6 camiões Cat 740 escolhidos para transporte da massa de estéril.

MODELO	Toneladas/ano	Toneladas de 1 Cat em 8 anos	Unidades	Total de Toneladas das 6 unidades durante 8 anos
Cat 740	1.341.173,52	10.729.388,2	6	64.376.328,96

Fonte: Autor, 2024.

Portanto, as 6 unidades de transporte (camiões Cat 740) transportarão cerca 8.047.041,12 de toneladas de estéril anualmente, de modo a transportar a quantidade de estéril requerida para a extracção racional do cascalho (minério). Desta forma não haverá ociosidade dos camiões e também permitirá criar um plano óptimo de manutenção dos camiões, visto que um camiões pode operar apenas meia hora do turno estabelecido (4horas), a fim de não haver o excesso de 1 milhão de toneladas de estéril das toneladas de estéril requerida.

5.3. ANÁLISE COMPARATIVA DA FROTA DE TRANSPORTE À UMA DISTÂNCIA MÁXIMA DE 600 METROS.

O método de lavra que tem sido analisado e testado para efectuar melhor resultado económico e consequentemente a redução dos custos, é o método de lavra por tira, efectuando-se não muito acima de 600 metros de distância das centrais de pré-tratamentos e *stockpile*, sendo que as centrais de pré-tratamentos podem ser transportadas e montadas em diferentes lugares da concessão, dependendo da necessidade exigida.

Tendo essa modalidade, para encurtar a distâncias de transporte do minério dos blocos existentes às centrais de tratamentos, é viável desmontar e montar as centrais de pré-tratamentos não acima da distância supramencionada, a fim de reduzir,o tempo de ciclo, os custos de transporte e aumentar a receita da mina.

CONCLUSÕES

Tendo-se determinado a dimensão do jazigo, os principais factores que influenciam no planeamento mineiro a longo prazo, os factores de seleção e dimensionamento da frota de carregamento e transporte, chegou-se as seguintes conclusões sistemáticas e sucintas:

- A escala de produção mineira é realizada na íntegra, utilizando eficaz e eficientemente os meios disponíveis, destacando os equipamentos de carregamento e transporte (por camiões, usualmente utilizado na mina), pois destes depende a produtividade da mina;
- Considerando os 8 blocos do jazigo, serão removidos maiores quantidades de massa de estéril nos blocos CM1, CM3, CM4 e CM2, portanto o dimensionamento dos camiões CAT 740 acoplados as escavadoras CAT 345C, nestes e outros blocos resultará na maior produção de massa de estéril no tempo e espaço planeado removendo um total de 28.561.050 m^3 em todo jazigo e consequentemente, permitirá atingir a camada de minério no tempo estimado.
- A escolha destes equipamentos (escavadoras e camiões), bem como a quantidade estimada dos mesmos, permitirá à correcta sequência de produção, não interrompendo o ciclo produtivo e evitando a rotura de produção. Desta maneira, facilitará a mobilidade de exploração do jazigo, permitindo assim, enquanto um bloco estiver a ser extraído o minério, simultaneamente, em outros blocos podem ser removidos a massa de estéril.
- Para a extracção racional de minério, considerou-se a utilização da escavadora CAT 330 acoplado ao camião VOLVO A25F e da escavadora CAT 330 acoplado ao camião VOLVO A 30F, que juntos produzirão cerca de 851.647,2 m^3 de minério por ano (dois turnos), todavia, como a produção de minério requerida anualmente é 158.506,3 m^3, está produção poderá ser alcançada em um turno de 8 horas, totalizando cerca de 106.455,9 m^3 de minério por ano.
- A compatibilidade dos equipamentos dimensionados, optimizarão o ciclo de produção, garantindo a máxima produtividade da mina.

RECOMENDAÇÕES

Levando em consideração as limitações do estudo, recomenda-se o seguinte:

- Reactualização da planificação e o redimensionamento das frotas, isto depois da inclusão dos recursos de diamantes adicionais em curso de prospecção.
- O estudo de viabilidade técnico-económico para a determinação dos custos operacionais da mina.
- O estudo acerca da influência do factor de diluição na exploração do jazigo.
- A aplicação de Softwares como *Smartmine* e *Wenco* para a gestão e controle do sistema de carregamento e transporte, optimizando assim o ciclo produtivo.
- Que se faça um estudo de viabilidade de impacto ambiental resultante da exploração do jazigo, com vista a preservar a biodiversidade e permitir a melhor recuperação do local lavrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALFREDO, F. d. (2015). Contribuição para a Escolha do Método de Exploração do Jazigo Aluvionar de Diamantes de Mundondo 2. Luanda.
2. AMARAL, M. (2008). *Modelos Matemáticos e Heurísticos para Auxílio ao Planeamentode Operações de Lavra em Minas a Céu Aberto.* Belo Horizonte.
3. BORGES, T. C. (2013). *Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração.* Ouro Preto.
4. BOTÂNICA, Centro e UAN. (2021). Flora e Vegetação de Angola. *Livro Actas*.
5. CAPPONI, L. N. (2012). *Introdução de Parâmetros de Controle de Incertezas para Planeamento de Lavra.* Porto Alegre.
6. CATERPILLAR. (2023). Guia de serviços caterpillar do camião CAT 740 C e da escavadora CAT 345 C. Equipamentos para a Mineração. *Catalógo de Equipamentos.*
7. CHIMUCO, J. P. (2010). *Metodologia de Planejamento de Minas para Retomada das Operações de Lavra das Jazidas de Kassinga Norte- Angola.* Ouro Preto.
8. CÓDIGO, M. (2011). *Lei número 31-11 de 23 de Setembro.* Luanda.
9. FONSECA, N. S. (2022). *Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Vazamento da Rotura a Conduta de Drenagem da Bacia de Retenção de Rejeitos na Sociedade Mineira de Catoca.* Luanda.
10. JOÃO, P. T. (2023). *Análise Comparativa Técnico-Económica entre Camiões Diesel e Correia (Transportadora) no Transporte da Massa Mineira.* Luanda.
11. JÚNIOR, O. L. (2017). *Simulação e Dimensionamento de Frota de Equipamentos para as Operações de Carregamento e Transporte na Mineração - Calcário Ouro Branco LTDA.* Catalão.
12. LEMOS, C. C. (2009). *Optimização de Exploração de Diamantes em Kimberlitos (Exemplo de Catoca).* Luanda.
13. MELO, S. O. (2020). *Estudo de Tempos de Ciclo de Carregamento e Transporte de Minério em uma Mina a Céu Aberto.* ARAXÁ/Minas Gerais.
14. MOREIRA, F. N. (2018). *Dimensionamento de Frota de Transporte e Carregamento para as Operações Unitárias de uma Mina em Expansão* . Ouro Preto - Minas Gerais.
15. PAULO, F. d. (2022). *Relatório Executivo das Actividades Desenvolvidas na Área da Cooperativa de Luxinene.* Lunda Norte.
16. PERONI, R. L. (2002). *Análise de Sensibilidade do Sequenciamento de Lavra em Função da Incerteza do Modelo Geológico* . Porto Alegre.

17. PERONI, Rodrigo de Lemos et al RACIA, Ismael Momade. (2017). Artigo Ref: 6467 Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamentos de Escavação e de Transporte em Mineração. *8º Congresso Luso - Maçambicano de Engenharia, Maputo*.

18. RACIA, I. M. (2016). *Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de transporte em Mineração.* Porto Alegre/RS.

19. REIS, C. H. (2019). *Estimativa da Variável Densidade e seu Impacto no Planejamento de Lavra. Estudo de caso MINA DE SERRA AZUL.* Ouro Preto.

20. RIBEIRO, A. G. (2017). *Dimensionamento de Frota: Um Estudo de Caso em uma Empresa Mineradora.* Juazeiro - BA.

21. SOUZA, T. CABRAL, I. (2016). Simulador de Mina Subterrânea a Eventos Discretos para Apoio à Tomada de Decisão. *Revista ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração,* 2p.

22. VELOSO, S. D. (2015). *Escolha Técnico-Económica Comparativa Entre os Modos de Transporte po Camiões Diesel-eléctricos Convencionais e Camiões Assistidos por Trolley (Aplicação ao Caso do Projecto da Mina SV).* Luanda.

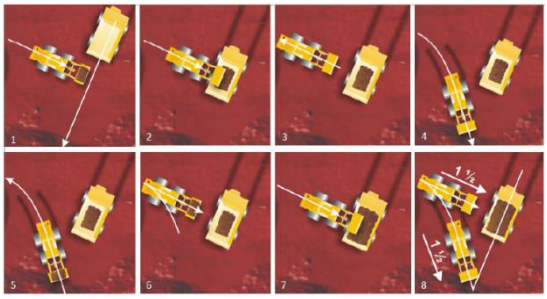
23. XIMENES, G. F. (2018). *Plano Mensal de Lavra de uma Mina de Ferro Localizada no Quadrilátero Ferrífero.* Ouro Preto.

ANEXOS

Figura 1 – Capacidade dos Camiões, nominal (A) e coroado (B).

Fonte: Gregory 2000, apud Racia 2016.

Figura 2 – Movimentos de carregamento realizado por Carregadeira Pneumática.



Fonte: Adaptado de CSN 2020, apud Melo.

Figura 3 – Camião CAT 740 C.

Fonte: Caterpillar, 2023.

Figura 4 – Escavadora CAT 345 C.

Fonte: Caterpillar, 2005.

Tabela 1 – Equipamentos determinados.

LISTA DE EQUIPAMENTOS DA FROTA PRIMÁRIA		
TIPO	**ESPECIFICAÇÃO**	**QUANTIDADE**
Escavadora hidráulica	CAT 330	2
Escavadora hidráulica	CAT 345 C	3
Carregadora frontal	CAT 966H	1
Camião articulado	VOLVO	2
Camião bascu. ou rígido	CAT 740	6
Tractor bulldozer	CAT D8R	2
Motoniveladora	CAT 140K	1
Camião de logística	UNIMOG	1
Veículos todo terreno (carrinhas)	Toyota HILUX	3
Veículos todo terreno	Land Cruiser	3

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 2 - Número de ciclo por hora dos equipamentos.

Equipamentos		Tempo de Ciclo (min)	N° de Ciclos por Hora
Escavadoras	**Cat 320**	0,32	188
	Cat 330	0,42	143
	Pc-Komatsu 450	0,42	143
	Cat 345C	0,42	143
Camiões	**Volvo A25F**	11	6
	Volvo A30F	11	6
	Cat 740	7	9

Fonte: Autor, 2024.