



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MINAS



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

**PROPOSTA DE TRANSIÇÃO DA MINA CÉU ABERTO PARA SUBTERRÂNEA
CASO DE ESTUDO - MINA DE CATOCA**

Autor: Alberto Sabino Juliano

Estudante Nº 107956

LUANDA AOS 2020

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MINAS

PROPOSTA DE TRANSIÇÃO DA MINA CÉU ABERTO PARA SUBTERRÂNEA

CASO DE ESTUDO - MINA DE CATOCA

Autor: Alberto Sabino Juliano

Estudante Nº 107956

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

Orientador: Msc. Engº. José Dias

Co-Orientadores:

LUANDA AOS 2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais **Armanndo Juliano Avelina e Josefina da Conceição Kombo** que sempre apoiaram-me de modo incondicional sem medir os esforços para que esse sonho se tornasse hoje um facto plausível.

As minhas 4 irmãs **Justina S. Juliano, Fernanda S. Juliano, Cleofas S. Juliano e Maria da C. Juliano** que sempre apoiaram-me de forma indicional

Aos meus tios Paulo Sabino, Alberto Sabino, Amélia Sabino, Ausgusta Sabino, Fatíma Sabino, Afonso Sabino, Sabino Conceição e Delfina Nkutxi. Em geral os meus primos que muito apoiaram-me nessa longa caminhada.

Em suma a toda família **Juliano e Sabino** pelo apoio constante e incondicional que tive durante a minha formação.

A todos o meu muito obrigado...

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus todo poderoso, pelo dom da vida, por ter dado ao homem a sabedoria, capacidade de pensar e por ter permitido que esse sonho se tornasse realidade.

Seguidamente a minha falecida irmã **Benjinha Sabino Juliano** pela força e incitativo que sempre deu-me enquanto em vida para que tudo quanto alcancei hoje tornasse uma realidade.

Um especial agradecimento ao meu tutor Engº. Msc. **José Dias** pela atenção e orientação e também ao professor João Carvalho.

A todos os professores do departamento de Minas e funcionários, tal como a Sociedade Mineira de Catoca pela oportunidade de estágio. Em particular aos engenheiros Samuel Republicano, Pedro Gama e Custódio Lemos pelo apoio prestado para concretização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos que sempre torceram por mim e encorajaram-me em perservar para dar continuidade aos objectivos, apesar das dificuldades.

Por último e não menos importante a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão da minha licenciatura.

EPÍGRAFE

Há bastante riqueza no mundo para as necessidades do homem, mas não para a sua
ambição.

Mahatma Gandhi

RESUMO

A transição da mina céu aberto para subterrânea traz cada vez mais desafios a serem superados pelos técnicos, engenheiros e especialistas, relativamente aos índices técnicos e económicos que as minas acarretam a uma determinada profundidade.

Para sua realização, inicialmente fez-se uma pesquisa bibliográfica e estudos sobre temas relacionados à mina a céu aberto e a mina subterrânea, profundidade de minas a céu aberto que passaram para transição e igualmente um estágio curricular na Sociedade Mineira de Catoca para recolha de dados.

Este projecto tem por objectivo levantar um referencial teórico e prático servindo como base ou um ponto de partida para propor o melhor critério adotar entre continuidade da mina céu aberto ou subterrânea, tendo em conta os principais parâmetros técnicos e económicos que resultariam numa redução dos custos de exploração a partir dos 600 metros de profundidade.

Esta análise foi feita a partir da profundidade 600 metro do bloco **BI. 9-C₂**, para o conhecimento da reserva e sua vida útil. Para além disto, levanta-se a questão central do aumento dos custos operacionais, exigindo, portanto, uma resposta adequada no que diz respeito à necessidade da adoção de um método de exploração que que acarreta menos custos. Surge então a necessidade de se comparar os principais parâmetro técnicos-económicos entre mina céu aberto e subterrânea, para proporcionar a redução dos custos de exploração.

Depois de apresentados os resultados comparativos dos parâmetros técnicos e económicos entre os dois métodos de exploração céu aberto e subterrânea, verificou-se que do ponto de vista económico a continuidade de exploração a céu aberto acarreta mais custos elevado comparativamente a exploração subterrânea, consequentemente a exploração subterrânea apresenta maiores lucros.

Este facto leva a sugerir a exploração subterrânea como a melhor opção para a redução dos custos. Ainda assim, requer um estudo mais aprofundado, pois que a análise dos Custo de Investimento da Mina Subterrânea foi feita com base na estimação de custos.

Palavras-chaves: Mina subterrânea, Mina céu aberto, Custos operacionais, Custo investimento.

ABSTRACT

The transition from the open pit to the underground mine brings more and more challenges to be overcome by technicians, engineers and specialists, regarding the technical and economic indices that the mines bring to a certain depth.

For its realization, initially a bibliographic research and studies on themes related to the open pit mine and the underground mine, depth of open pit mines that passed for transition and also a curricular internship at Sociedade Mineira de Catoca for data collection were carried out. .

This project aims to raise a theoretical and practical reference serving as a base or a starting point to propose the best criterion to adopt between continuity of the open pit or underground mine, taking into account the main technical and economic parameters that would result in a reduction in the costs of exploration from 600 meters deep.

This analysis was made from the 600 meter depth of the BI block. 9-C2, for the knowledge of the reserve and its useful life. In addition to this, the central question of increasing operating costs is raised, thus requiring an adequate response with regard to the need to adopt an exploration method that entails less costs. The need then arises to compare the main technical-economic parameters between open pit and underground mine, in order to reduce operating costs.

After presenting the comparative results of the technical and economic parameters between the two open and underground exploration methods, it was found that from an economic point of view, the continuity of open exploration results in higher costs compared to underground exploration, consequently the exploration underground has higher profits.

This fact suggests that underground exploration is the best option for reducing costs. Even so, it requires a more in-depth study, since the analysis of the Investment Costs of the Underground Mine was made based on cost estimation.

Keywords: Underground mine, Open pit mine, Operating costs, Investment cost.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	ix
LISTAS DE SÍMBLOS E SIGLAS	x
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Introdução	1
1.2 Contextualização do Problema	2
1.2.1 Problema.....	2
1.2.2 Causas.....	2
1.2.3 Consequência	2
1.2.4 Formulação das Hipóteses.....	2
1.2.5 Motivo da Escolha do Problema	3
1.3 Objectivos	3
1.3.1 Objectivo Geral	3
1.3.2 Objectivos Específicos	3
1.4 Metodologias do Trabalho.....	4
1.5 Limitação e Delimitação do Estudo	5
1.5.1 Delimitação	5
1.5.2 Limitações	5

1.6 Definição de Termos e Conceitos.....	5
CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA E DEMOGRÁFICA DA REGIÃO	7
2.1 Localização Geográfica da Mina	7
2.2 Clima	8
2.3 Hidrografia	9
2.4 Vegetação, Florestas e Fauna	10
2.5 Vias de Acesso	11
2.6 Demografia / Densidade Populacional	12
CAPÍTULO III: INFORMAÇÃO GEOLÓGICAS E TOPOGRÁFICA.....	13
3.1 Historial da Mina de Catoca	13
3.2 Estrutura Geológica da Região	14
3.3 Relevo.....	15
3.4 Morfologia e Estrutura Interna do Corpo Mineralizado	15
3.4 Características Geológico-Mineiras e Técnico-Mineiras do Jazigo Geotécnica da Mina	21
3.4.1 Peso Volumétrico das Rochas	22
3.4.2 Avaliação da Reserva de Diamantes da Chaminé de Catoca até a Profundidade 600m.....	23
CAPÍTULO IV: ESTUDO DE CASO	25
4.1 Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira.....	25
4.2 Objectivos do Departamento de Mineração	25
4.3 Sistema de Mineração.....	26
4.4 Planeamento e Operações	26
4.5 Operações Mineiras	27
4.5.1 Equipamentos Utilizados	28
4.6 Complexidades	29
4.7 Desafios do Departamento de Mineração.....	29

4.8 Processo de Mineração	29
4.9 Segurança, Higiene no Trabalho	30
4.10 Caracterização da Sociedade Mineira de Catoca.....	30
CAPÍTULO V: ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	32
5.1 Lavra a Céu Aberto Versus Lavra Subterrânea	32
5.2 Factores que Influenciam a Corta Final de uma Mina.....	32
5.3 Dentre eles Apenas Dois Factores nos Levam a Transição de uma Mina.....	37
5.4 Estimação dos Custos Operacionais e investimento	38
CAPÍTULO VI: CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA-ECONÓMICA DA RESERVA	40
6.1 Avaliação da Reserva da Chaminé de Catoca do Blocco BI. 9-C ₂	40
6.2 Argumentação da Capacidade Produtiva Mina Profundidade 600 a 800m.....	44
6.3 Análise da Receita Bruta Mina dos 600 a 800m do Kimberlito de Catoca	48
6.4 Análise dos Custos e Lucros da Continuidade da Mina Céu Aberto.....	49
6.4.1 Custos Operacionais.....	49
6.5 Análise dos Custos e Lucros da Mina Subterrânea	50
6.5.1 Custos Opracionais.....	50
6.5.2 Custo de Investimento da Mina Subterrânea.....	51
CAPÍTULO VII: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	56
7.1 Resultados dos Índices Económico	56
CAPÍTULO VIII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
8.1 Conclusões.....	58
8.2 Recomendações	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Mina.....	6
Figura 2: Rio Chicapa.....	9
Figura 3: Vegetação.....	10
Figura 4: Vias de Acesso.....	10
Figura 5: Chaminé de Catoca, modelo tridimensional.....	17
Figura 6: Corte de delimitação dos blocos de reserva.....	18
Figura 7: Ornograma do departamento de exploração mineira.....	24
Figura 8: Sistema de controlo e gestão das operações.....	25
Figura 9: Design da mina (2012).....	26
Figura 10: Equipamentos utilizados.....	27
Figura 11: Esquema de distribuição de volumes da massa mineira por etapas de exploração da mina até 800m.....	40
Figura 12: Corpo kimberlítico da Catoca em forma de cone invertido	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperaturas e Precipitações média / clima em Saurimo.....	8
Gráfico 2: Acionista da empresa Catoca.....	30
Gráfico 3: Preço Médio da venda dos diamantes de Catoca.....	46
Gráfico 4: Custo da mina Céu Aberto e mina Subterrânea.....	56
Gráfico 5: Lucro da mina Céu Aberto e mina Subterrânea.....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas geográficas de Catoca	6
Tabela 2: Censo populacional da Lunda Sul de 2014	11
Tabela 3: Resultados dos principais parâmetro de optimização.....	12
Tabela 4 : Principais parâmetros do corpo mineralizado da chaminé de Catoca.....	19
Tabela 5: Parâmetros das bancadas, construídas em determinados tipos de rochas do jazigo de Catoca	20
Tabela 6: Propriedades físico-mecânicas das rochas e do minério	21
Tabela 7: Cálculo dos valores médios do peso volumétrico (γ) e resistência (σ comp) dos kimberlitos da chaminé de Catoca, por blocos geológicos.....	22
Tabela 8: Avaliação das reservas de diamantes da chaminé de Catoca até a profundidade de 600m (horizonte 360m)	23
Tabela 9: Equipamentos em uso na mina de Catoca	27
Tabela 10: Reservas da chaminé de Catoca a profundidade de 600m à 800m.....	42
Tabela 11: Capacidade produtiva racional e prazo da vida explorável da mina	44
Tabela 12: Cálculo da capacidade produtiva média da mina Catoca em função das condições técnico-geológicas	45
Tabela 13: Índices técnico-económicos atingidos até 2019 na exploração da chaminé kimberlítica de Catoca.....	46
Tabela 14: Custos da mina Céu aberto.....	48
Tabela 15: Custos da mina Subterrânea.....	49
Tabela 16: Resumo de alguns parâmetros.....	55

LISTAS DE SÍMBLOS E SIGLAS

ATE	Análise técnica e económico
°C	Grau celsius
Engº	Engenheiro
EVTE	Estudo de Viabilidade Técnica e Económico
Findex	Factor de indexação
mm	milímetro
m²	metro cúbico
m	metro
m³	metro cúbico
Msc	Mestre
Nº	Número
NE	Norte-Este
NW	Norte-Oeste
NPT	Normas de preparação tecnológicas
Qlt	Quilate
SMC	Sociedade Mineira de Catoca
t	toneladas
USD	Dólar Americano
W	watt

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introdução

A profundidade das minas a céu aberto existente e a tendência crescente das restrições ambientais têm criado dificuldades para a exploração de minérios a céu aberto. Por outro lado, há inúmeras dificuldades na exploração de minas subterrâneas, como, por exemplo, o alto custo que suas atividades demandam.

A produção de bens minerais mostra, para o futuro, a perspectiva de se vir a processar, cada vez em maior escala, através de lavra subterrânea, em razão da progressiva exaustão das reservas facilmente acessíveis à extração a céu aberto e da necessidade da preservação do meio ambiente, impondo cada vez mais restrições à lavra a céu aberto, embora, sabidamente não seja a indústria extractiva mineral a actividade económica mais agressora do meio ambiente.

Neste estudo, desenvolve-se a análise técnica e econômica da exploração da Mina de Catoca, onde a mineralização inicialmente aflorante vem sendo explorada desde 1997 através da lavra a céu aberto. Na Mina de Catoca, como em grande parte dos casos da mina a céu aberto, quando determinada profundidade de lavra é alcançada e as pesquisas indicam a existência de reservas e/ou recursos remanescentes com potencial econômico, deve-se estabelecer a profundidade de transição da lavra a céu aberto para subterrânea visando maximizar o aproveitamento mineral.

Considerando o panorama da mineração mundial, algumas das maiores minas a céu aberto em operação como caso da mina de Catoca, poderá atingir sua profundidade limite ou seja “*pit final*” durante os próximos 10 ou 14 anos, os factores a se considerar para transição da lavra a céu aberto para subterrânea está relacionado com os aspectos técnicos-econômicos.

1.2 Contextualização do Problema

O aprofundamento do corpo kimberlítico da mina de Catoca traz cada vez mais desafios a serem superados pelos técnicos e engenheiros da Sociedade Mineira de Catoca. Levanta-se aí questão do aumento dos custo operacionais, exigindo, portanto, uma transição a uma determinado profundidade.

Havendo a necessidade de uma análise comparativa dos principais parâmetros técnicos-económicos entre custos e lucros da Mina céu aberto e da subterrânea, surge então o problema abaixo.

1.2.1 Problema

Qual deverá ser o melhor critério de exploração entre continuidade da mina céu aberto ou transição para subterrânea, tendo em conta os principais parâmetros técnico e económico que resultariam numa redução dos custos de exploração a partir de 600 metros de profundidade do Kimberlito da Catoca?

1.2.2 Causas

- ✓ Profundidade do depósito;
- ✓ Quantidade de material a ser retirado para alcançar o minério;
- ✓ Jazidas aflorantes vão se tornando escassos;
- ✓ Aumento do conhecimento do comportamento de maciços rochosos;
- ✓ Diminuição da praça.

1.2.3 Consequência

- ✓ Alteração da geometria inicial da mina;
- ✓ Aumento de tempo de ciclo;
- ✓ Desgaste rápido dos equipamentos;
- ✓ Perda tempo;
- ✓ Dificuldade de manobra dos equipamentos.

1.2.4 Formulação das Hipóteses

- ✓ Realizando-se um estudo da caracterização geológica e técnico-minero da Mina de Catoca, é possível calcular os principais parâmetros técnicos e económicos para

propor a continuidade ou transição para um método que permita a redução dos custos de exploração.

- ✓ Definindo o melhor critério de exploração a aplicar, para que se reduza os custos operacionais de forma a resolver o problema e que seja mais económico.

1.2.5 Motivo da Escolha do Problema

A exploração de uma mina varia consuante a sua profundidade, quanto maior for, maior será os custos com a exploração, daí a escolha do problema de forma a fazer o estudo e assim propor critério de exploração que possa reduzir os custos de exploração da mina de Catoca.

A tendência natural das minas a céu aberto, à medida que se desenvolve a exploração , e a mina se torne mais profunda, podendo-se atingir um limite técnico-económica que não permita o seu prosseguimento. Torna-se necessária, dessa maneira, uma transição para mina subterrânea, pois fatores técnicos e econômicos indicaram esse tipo de mudança.

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo Geral

- ✓ Estudar a melhor opção do ponto de vista técnico e económico dos critério de exploração tanto a céu aberto e subterrânea, para propor a transição da mina de Catoca.

1.3.2 Objectivos Específicos

- ✓ Caracterizar desde o ponto de vista geológico e minero a mina de Catoca;
- ✓ Avaliar a reserva da chaminé de catoca entre profundidade 600 à 800, bloco BI. 9-C2;
- ✓ Fazer uma análise da capacidade produtiva mina da profundidade 600 à 800m
- ✓ Apresentar a receita bruta do bloco BI. 9-C2;
- ✓ Apresentar os custos e lucros tanto da mina céu aberto e da mina subterrânea
- ✓ Fazer uma análise comparativa entre a contunuidade mina céu aberto e da transição para mina subterrânea com base nos custos
- ✓ Definir o critério de exploração mais rentável a partir da profundiade 600 metros.

1.4 Metodologias do Trabalho

Neste subcapítulo, descreve-se como foi organizado o desenvolvimento deste trabalho, enfatizando a sua natureza, a classificação e as etapas seguidas para obtenção dos resultados esperados.

Desta forma o método é o conjunto de procedimentos ou caminho com o qual se atingem os objectivos ou explicações de um determinado problema. Do ponto de vista dos objectivos e do problema optou-se pelos seguintes tipos de pesquisas:

- ✓ **Pesquisa exploratória**, Visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assumindo, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso.
- ✓ **Pesquisa Descritiva**: Visa descrever as características que envolve o uso de técnicas padronizadas de colecta de dados, tais como: questionário e observação sistemática.

Para atingir os objectivos do estudo, o desenvolvimento deste trabalho foi baseado na seguinte Metodologia:

- a) Pesquisa bibliográfica que inclui análise de relatório, livros e publicações que abordam sobre o presente trabalho.
- b) Realização de estágio académico durante 30 dias no Departamento de Mineração e Geologia da Sociedade Mineira de Catoca;
- c) Questionários e entrevistas com técnicos, operadores e chefes de secção e departamentos;
- d) Observação e acompanhamento dos processos tecnológicos;
- e) Recolha de dados no **sector de Planeamento mineiro e análise** de Catoca, para efeito de cálculos;
- f) Determinação dos índices técnicos e económicos;
- g) Discussão e Análise dos resultados;
- h) Conclusões e Recomendações.

1.5 Limitação e Delimitação do Estudo

1.5.1 Delimitação

O presente trabalho circunscreve-se apenas em área delimitada pela ocorrência do kimbelito catoca.

1.5.2 Limitações

Limita-se na análise da possível continuidade da mina a céu aberto ou transição para mina subterrânea.

1.6 Definição de Termos e Conceitos

Mina: área devidamente demarcada para o exercício do direito mineiro de exploração. Incluindo o jazigo mineral objecto da concessão, todos os meios técnicos e infraestruturas necessárias para a realização das operações mineiras, bem como as benfeitorias de carácter social.

Minério: recurso mineral não renovável, que possui espécies minerais recuperáveis com lucros.

Teor: quantidade de espécie contida na unidade e peso ou volume, ou a sua percentagem em peso presente em um corpo mineral.

Método de exploração: conjunto de processos utilizados na remoção de substância útil contida numa fracção de jazigo.

Exploração a céu aberto: escavação realizadas para a exploração do minério em contacto com o ar.

Exploração subterrânea: é o processo de se extraír minerais e minérios que estão a profundidades grandes para serem lavrados por métodos superficiais.

Mineração: consiste no agrupamento dos processos, traalhos, ocupação e industria relacionados e envolvidos nas extrações de minerais.

Engenharia de minas: a arte e a ciência aplicada aos processos de mineração e à exploração das minas.

Depósito mineral: ocorrência geológica de minerais em forma relativamente concentrada com potencial de exploração.

Desmonte: operação que consiste em separar blocos e fragmentação do maciço a que pertence através da abertura da cavidade .

Do ponto de vista geológica distinguem-se os seguintes termos:

Mineral: substância natural geralmente inorgânica que ocorre na crusta terrestre e que apresenta uma composição química definida e características físicas próprias.

Rocha: um conjunto de minerais.

Estéril ou Ganga: minerais que não têm utilidade nem valor suficiente para ser explorado (o estéril ou ganga representa tudo aquilo que vem com o minério, mas é considerado desperdício).

CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA E DEMOGRÁFICA DA REGIÃO

2.1 Localização Geográfica da Mina

Em termos administrativos geográficos, a sociedade mineira de Catoca situa-se no Nordeste da República de Angola, na parte noroeste da província da Lunda Sul, e esta por sua vez faz fronteira a Norte com a província da Lunda Norte, a Sul com a província do Moxico, a Oeste com Malanje e Leste com a República Democrática do Congo. A SMC localiza-se próximo da cidade de Saurimo (Capital da província da Lunda Sul), numa distância de 35 km e cerca de 949 km (EN230) de Luanda. O território da área de concessão da SMC encontra-se dentro da folha topográfica 121-SG34 (Escala 1:1000000) do Cadastro Topográfico do Estado, numa região situada nos limites entre as Lendas Norte e Sul, e ocupa uma área de 340 km², delimitada pelas seguintes coordenadas geográficas apresentadas na tabela abaixo.

Tabel 1: Coordenadas Geográficas de Catoca

Coordenadas Geográficas		
Longitudes Este (X)	Latitudes Sul (Y)	Altitudes (Z)
20°15'00'' - 20°24'15''	9°18'00'' - 9°29'20''	937 – 1005 m



Figura 1: Localização da Mina

Fonte: Relatório Catoca (2001)

2.2 Clima

A região enquadra-se na zona tropical quente e húmido (mega térmica e húmida do tipo B1 e B2, segundo a classificação regional de Thornthwaite), definida por uma estação chuvosa de cerca de oito (8) meses, isto é, meados do ano; Setembro a Maio, e que os quantitativos são superiores a 1400 mm.

A estação seca com duração inferior a 120 dias, caracterizado não só por participações praticamente nulas, mas também por um grau de secura do ar bastante acentuado, atenuada por uma humidade relativa elevada, que ao longo do ano apresenta valores médios superiores a 70%. A temperatura média anual é superior a 23 °C – 24 °C em Julho com valores máximos durante a época de chuvas em Março ou Abril.

Existe grande regularidade na variação das condições climáticas quer com a latitude quer com a altitude, devido a ausência de relevo. Assim, a temperatura média anual do ar é de 27 °C, sendo a humidade relativa pronunciada e o regime de chuvas carregado, por vezes terencial.

A humidade relativa na Lunda-Sul aproxima-se dos 90% e 50% respectivamente para o mês mais húmido e para o mês mais seco. Quanto a máxima absoluta, aproximam-se entre os 100% a 20%. Portanto a média anual das chuvas é de 1350mm, como a máxima de 1500mm e mínima de 1200mm.

O clima é caracterizado pela existência de dois máximos de pluviosidade, situados respectivamente em Abril e Dezembro, e o segundo superior ao primeiro, alternado com dois mínimos, um muito mais acentuado, de seca praticamente completa em Junho e Julho, e outro muito menos acentuado em Fevereiro.

A estação seca dura aproximadamente três (3) meses (Junho-Agosto) e a estação das chuvas nove (9) meses (Setembro-Maio). Acrescer ainda que as chuvas por vezes são acompanhadas de granitos e ao entardecer e ao amanhecer, criam um campo muito extenso de nevoeiro.

O clima é tropical. Chove muito mais no verão que no inverno. Segundo a Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw. Em Saurimo a temperatura média é 21.9 °C. 1324 mm é o valor da pluviosidade média anual.

A temperatura média do mês de Setembro, o mês mais quente do ano, é de 23.2 °C. Em Junho, a temperatura média é 20.6 °C. É a temperatura média mais baixa de todo o ano.

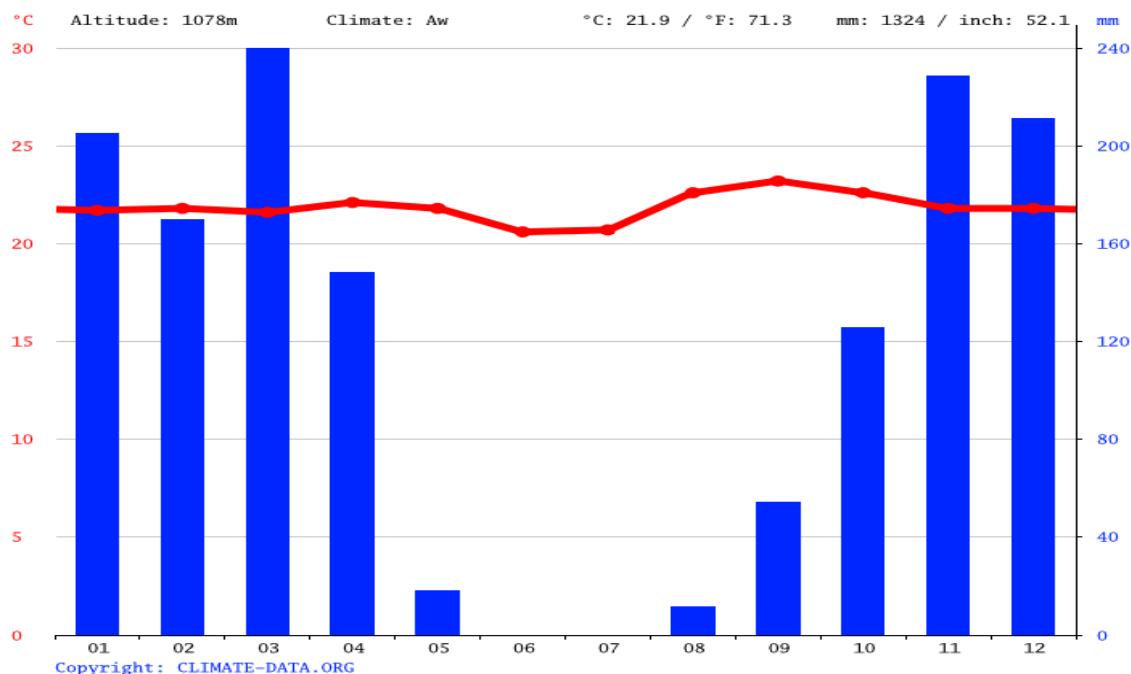


Gráfico 1: Temperaturas e precipitações médias / clima em Saurimo

Fonte: Learn More-Lunda Sul- Climate-Data.org (2020)

2.3 Hidrografia

A rede hidrográfica da região está orientada na direção norte, drena as suas águas para o rio Zaire, por intermédio do rio Kassai, um dos seus maiores tributários e cujos afluentes, alimentados por inúmeros sub-afluentes, atravessam a região de sul para o norte. Os principais afluentes do rio Kassai são, de oeste para leste, o Kuango, Cuilo, Luangue, Luxico, Chicapa, Luachimo, Chihumbe e seu afluente Luembe.

A chaminé de Catoca encontra-se na ladeira direita do vale de curso médio do rio Lova, um dos afluentes do rio Chicapa. O jazigo está situado numa caldeira erosiva natural, formada pelo riacho Catoca que ocorre acima da própria chaminé.

Os vales dos rios são abertos e têm formas de **U** e **V**. São rios de médio comprimento, frequentemente com pedregais, por isso são impróprios para navegação (conforme se pode observar na figura 2). Os rios, presente na área de concessão da sociedade mineira de Catoca, possuem recursos hídricos interessantes, destacando-se o rio Lova, que é utilizado para abastecimento de água potável.

O rio Luite, que fica localizado na zona adjacente à bacia de contenção de rejeitados. O mais atractivo é o rio Chicapa, que corre ao longo do limite leste da concessão, e é utilizado para o aproveitamento hidroelétrico, fornecendo energia eléctrica para Catoca e à cidade de Saurimo. O caudal destes rios varia segundo as estações do ano. No período seco apresentam um caudal mínimo, enquanto no tempo chuvoso, o caudal aumenta consideravelmente.

No que respeita às cotas do relevo na superfície envolvente à intrusão, estas rondam 1065 m na parte mais para E e 950 m no leito do rio Lova.



Figura 2: Rio Chicapa

Fonte: Catoca

2.4 Vegetação, Florestas e Fauna

A moldura verde das matas e da grande floresta equatorial é mais expressiva junto dos braços dos grandes rios.

O solo desfeito pelo volume das quedas pluviais ou a savana desacolhedora, salvo em algumas modestas manchas é coberto de vegetação rasteira. A Lunda Sul é em síntese uma região de savana pouco arborizada. Todavia a região possui alguns recursos florestais localizados fundamentalmente nos municípios de Muconda e Saurimo.

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



Figura 3: Vegetação

Fonte: Relatório Catoca (2001)

2.5 Vias de Acesso

A mina é acessível por estrada asfaltada ou por via aérea, quer via Saurimo, quer via Lucapa. Por via aérea, utilizam-se aviões de grande e pequeno porte que aterraram, respetivamente no aeroporto de Saurimo e aeroporto da mina de Catoca, e por via terrestre, através das estradas nacionais nº 180 que liga as cidades de Saurimo ao Dundu, e estrada nacional 230 entre as cidades de Malange e Saurimo (Lunda Sul).

Já o acesso ao campo de estudo é feito por uma via principal, asfaltada pela empresa Catoca, a partir do desvio da estrada nacional nº 180, no bairro do Zorro.



Figura 4: Vias de acesso

Fonte: André da Costa-estrafas da Lunda Sul com menos acidente 30/08/2018

2.6 Demografia / Densidade Populacional

Lunda Sul é uma província de Angola situada no Nordeste do país, e sua capital chama-se Saurimo. Tem uma área de 77.636 Km² e a sua população aproximada é de 609.851 habitantes. A província é constituída pelos municípios de Cacolo, Dala, Muconda e Saurimo.

A Lunda Sul tem 10 comunas nomeadamente: Mona Quimbundo, Chiluage, Muriege, Cazage, Luma-Sassai, Alto-Chicapa, Xassengue, Cucumbi, Sombo-Sul, Kassai e Dala.

Tabela 2: Censo populacional da Lunda Sul de 2014

Dados Gerais	
Fundada em	4 de Julho de 1978 (42 anos)
Província	Lunda Sul
Características Geográficas	
Área	77.636 Km ²
População	609.851 Hab.
Densidade	1.67 Hab./Km ²
Dados Adicionais	
Código Postal	
Prefixo telefónico	
Sítio	Governo Provincial da Lunda Sul
Projecto Angola/ Portal de Angola	

Fonte: Relatório de Catoca (2001)

CAPÍTULO III: INFORMAÇÃO GEOLÓGICAS E TOPOGRÁFICA

3.1 Historial da Mina de Catoca

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

Em 1995, os primeiros pesquisadores chegaram ao kimberlito de Catoca para melhor entenderem as riquezas que ali estavam guardadas. A exploração do Kimberlito da Mina de Catoca teve o seu início aos 11 de Fevereiro de 1997, isto é, considera-se esta data como o dia da Mina de Catoca, com um tempo de vida inicialmente previsto para 40 anos até a profundidade de 400 m. A Chaminé Kimberlítica ocupa uma área de 64 hectares (990mx915m), devendo a Mina atingir no seu limite final um diâmetro aproximado de 1650x1650. Em 2011 foi elaborado novo projecto para optimização das condições técnicas-económicas de aproveitamento do jazigo, tendo como resultado os seguintes principais parâmetros apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Resultados dos Principais parâmetros de optimização

Parâmetros	Variante
1-Profundidade de exploração (m)	600
2-Período de exploração (anos)	2011-2034
3-Tempo de vida útil (anos)	23
4-Dimensões da Mina aberta (m)	
-Por superfície	1660x1660
-Por fundo	290x120
5-Volume de minério (reservas de exploração) (mln.t)	207,3
6-Volume de estérreis (mln. m^3)	159,4
7-Volume de massa mineira (mln. m^3)	254,9
8-Coeficiente de estéril (m^3/t)	0,77

Fonte: Relatório de Catoca (2011)

3.2 Estrutura Geológica da Região

A região enquadra-se na orla meridional da bacia do Congo, serpentando o seu prolongamento geomorfológico natural em território Angolano. Geologicamente, o tubo de kimberlita Catoca está entre os maiores depósitos de diamantes primários do mundo.

Em termos da estrutura tectónica, a região situa-se na parte Sudoeste do escudo cristalino Cassai, da idade arqueano-proterozoica, confinando com a parede da depressão mesocenozoica do Congo. Geomorfologicamente, o território da região está localizado na parte Leste do planalto da Lunda, onde estão desenvolvidas as rochas da capa de plataforma. No Sector Angolano da Plataforma Africana, distinguem-se dois andares estruturais:

- ✓ O inferior, representado por embasamento cristalino e composto por rochas do Arqueano e Proterozoico inferior;
- ✓ O superior, representado por um complexo das rochas da capa de plataforma, do proterozoico superior, paleozoico, mesozoico e cenozoico.

As numerosas ocorrências kimberlíticas da idade cretácica encontram-se na zona regional de fracturas abissais de Lucapa que tem a direcção submeridional e cuja extensão atinge 1.200 km, a largura sendo de 55 – 85 km. Na parte Sudoeste dessa estrutura, além dos kimberlitos, são muito frequentes os corpos tipo “pipe”, de carbonatitos e de rochas de composição alcalina. As chaminés kimberlíticas situam-se, por via de regra, nas zonas de cruzamento das fracturas regionais bissistemáticas. A primeira tem a direcção Nordeste, a segunda está direcionada a Noroeste.

O território mais estudado em termos de revelação dos corpos kimberlíticos e avaliação das perspectivas das mesmas é a área que se estende ao longo dos rios Luembe, Chiumbe, Luachimo e Chicapa. Estruturalmente, essa região abrange a ladeira Oeste do escudo Cassai. Nessa área são conhecidas mais de 70 chaminés agrupadas em quatro campos kimberlíticos: Camafuca-Camazambo (19 chaminés); Camútue (15 corpos); Camagia (8); Catoca (com 32).

O campo kimberlítico de Catoca está localizado na bacia do rio Chicapa e tem orientação submeridional. Entre os “pipes” conhecidos do campo, o maior é a chaminé de Catoca.

3.3 Relevo

A Lunda Sul, como a maior parte da África Central, do ponto de vista climático, classifica-se no grupo de clima sub-equatorial.

A superfície é suavemente ondulada e monótona, quase sem deformações por isso é constituída por autênticas planícies. A altitude baixa gradualmente desse o canto SW, onde estão as nascentes dos grandes rios Cuango, Kassai, etc. e onde alcança cerca de 1400 metros a NE e para NW reduz-se até 700 metros.

3.4 Morfologia e Estrutura Interna do Corpo Mineralizado

A chaminé de Catoca pertence aos maiores corpos kimberlíticos do mundo. A maior parte do jazigo estava recoberta (até 2004) por produtos de destruição das rochas encaixantes e sedimentos finos da formação Calahári, cuja espessura varia de uns metros até 120m, constituindo em média 40m.

A chaminé de Catoca pertence aos depósitos kimberlíticos fracamente erodidos com o funil conservado, preenchido pelas rochas da fácie crateral. A transição da cratera ao diatrema, com o canal do tipo cilíndrico, é observada numa profundidade de 400m (cota absoluta +560m), em que as dimensões do corpo mineralizado são reduzidas até $430 \times 360\text{m}$ (136,4 mil m^2). A máxima redução da área da chaminé é constatada dentro dos limites da cratera: na profundidade de 100 m a partir da superfície terrestre a área do corpo mineralizado diminui-se em 19%, e a 200m de profundidade constitui 52% das suas dimensões iniciais. Os resultados da prospecção revelam a morfologia e estrutura interna complicadas, da chaminé de Catoca.

Em termos generalizados, as rochas kimberlíticas e as formações a elas associadas, por sua composição substancial e o carácter diamantífero subdividem-se em três complexas estruturas faciais, os quais compõem no interior da chaminé os sectores distintos separados:

1-A parte central do corpo mineralizado, até a profundidade de 260m (Sector intercratral) está formada pelas rochas vulcanogénico-sedimentares e epiclasticas RVS, sendo fracamente diamantíferas (Teor Baixo), e brechas kimberlíticas tufáceas com teores indústrias de diamantes BKT-2.

2-O cinturão anelar (endoperiférico) da chaminé, confinante com as paredes do funil da cratera, está composta normalmente por brechas kimberlíticas com a textura maciça do cimento BKM, estes por sua vez apresentam o principal tipo dos minérios industriais o jazigo, e parcialmente por brechas Kimberlítica tufáceas BKT-1 que também contem diamantes em concentrações industriais;

3-A parte central do corpo kimberlítico, abaixo da profundidade de 260m (o próprio diatrema), está representada por brechas kimberlíticas autolíticas (BKA), que por suas características diamantíferas são próximas as brechas kimberlíticas com textura maciça do cimento (BKM).

Os kimberlitos e as rochas Vulcanogénico-sedimentares (**RVS**) diamantíferas, das fáceis craterais do jazigo, geneticamente vinculadas à formação do próprio corpo mineralizado, estão representados pelos seguintes tipos principais:

- ✓ Brechas kimberlíticas com a textura maciça do cimento (**BKM**);
- ✓ Brechas kimberlíticas autolíticas (**BKA**);
- ✓ Tufos kimberlíticos, brechas tufáceas e tufo-gravelitos com intercalações de arenitos tufáceos (**BTK**);
- ✓ Arenitos, arenitos tufáceos, tufo-aleurolitos, argilitos (**RVS**);
- ✓ Rochas kimberlíticas da zona de transição (**ZT**);
- ✓ Substrato do complexo vulcanogénico-sedimentar, saturadas em abundância com os xenólitos de gnaisses encaixantes – a chamada “zona xenolítica” (**ZX**).

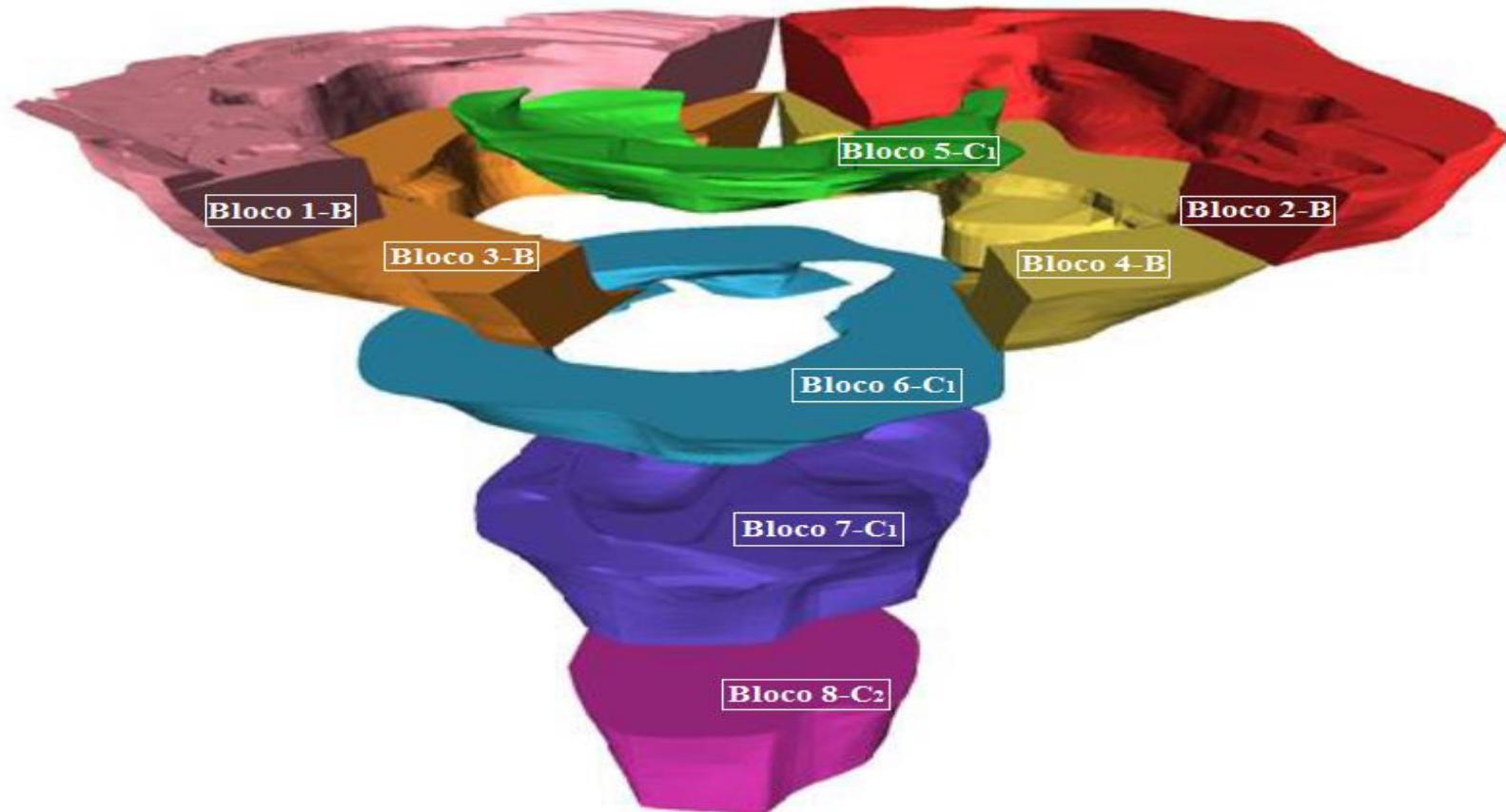
As rochas encaixantes da chaminé são gnaisses pré-cambrianos de diferentes composições e graus de meteorização, e as rochas sobrejacentes de cobertura são areias da formação paleogeno-neogénica de Calahári, areias e arenitos interformacionais paleogénicos e sedimentos aluviais e artificiais industriais modernos.

Constitui uma peculiaridade dos kimberlitos da chaminé de Catoca, a sua resistência relativamente pequena e alto teor do material argiláceo, o que permite proporcionar, em regime de moagem sem bolas trituradoras (moagem autógena). No minério, o teor de minerais com uma densidade maior de $3,1 \text{ g/cm}^3$ nos kimberlitos da chaminé de Catoca não ultrapassa 1-5%, mais da metade deles são minerais magnéticos.

A delimitação de blocos e categorização das reservas foram efectuadas em função do grau atingido de prospecção geológica, densidade de demarcação e amostragem. No âmbito

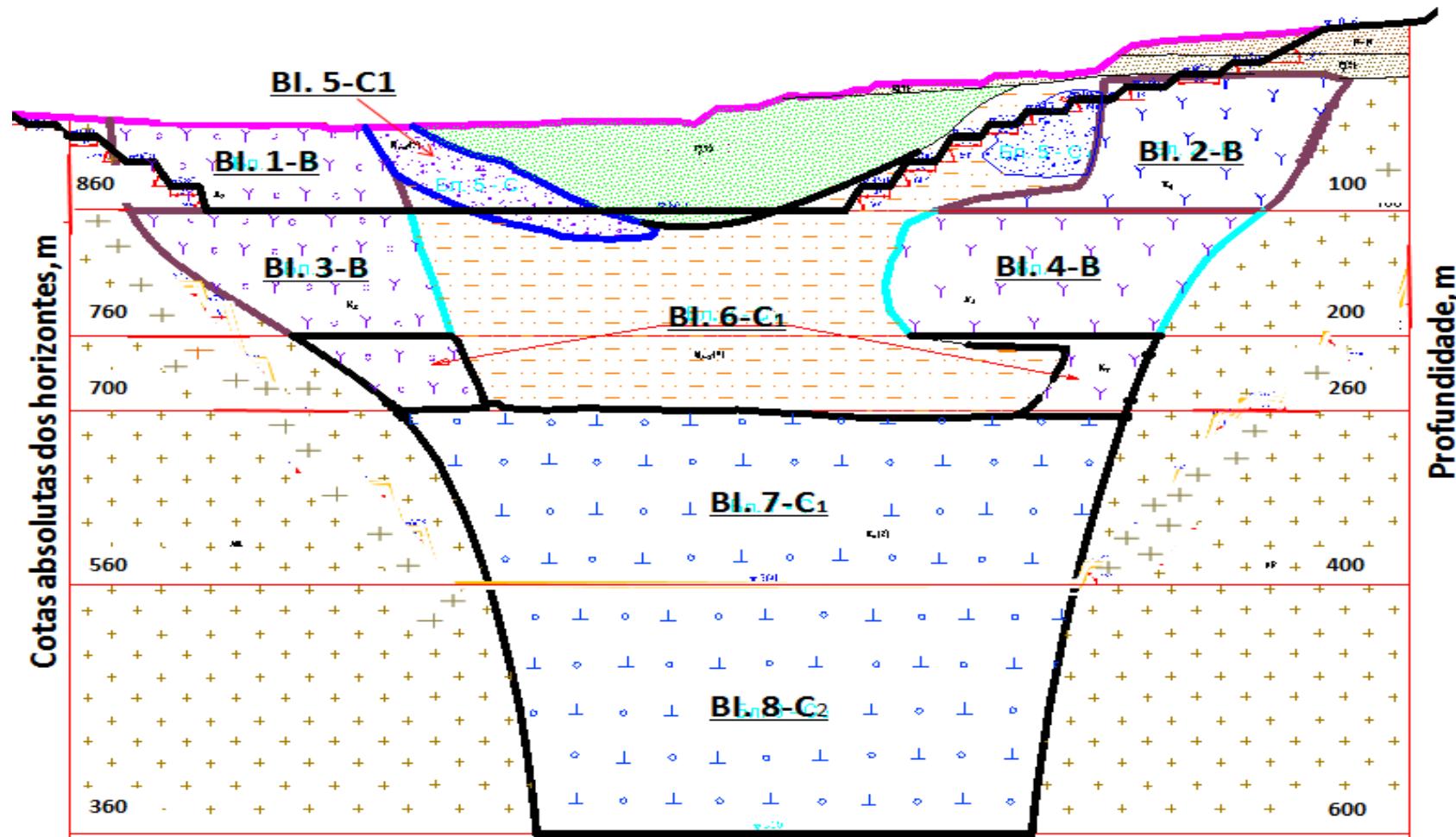
desses parâmetros, a chaminé de Catoca está prospectada: até a profundidade de 200m (horizontes de +960 - +760m) – a nível da categoria B, no intervalo de 200-400m (horizontes de +760 - +560m) – a nível da categoria C1, e no intervalo de 400-600m as reservas têm sido avaliados a nível da categoria C2. Com base nos materiais elaborados pelo Instituto “Iakutniprolamaz”, foi adoptado como parâmetro-limite dos requisitos para a avaliação das reservas de diamantes, o mínimo teor de mineralização de 0,15 qlt/ton.

Figura 5: Chaminé de Catoca, Modelo Tridimensional



Fonte: Relatório da Catoca (2001)

Figura 6: Corte de delimitação dos blocos de reserva



Fonte: Relatório da Catoca (2001)

Tabela 4: Principais parâmetros do corpo mineralizado da chamineé de Catoca

Nº	Horizontes do corpo mineralizado (m)	Profundidade, a partir da superfície do corpo mineral (m)	Variações das dimensões do corpo mineralizado,m				Áreas das secções horizontes, m^2			
			Corpo min., total	Inclusive			Corpo min.	Inclusive		
				Cinturão anelar, (BKM) (largura do anel)	Sector central (BKA)	Sector intra-crateral (RVS)		Cinturão anelar (BKM)	Sector central (BKA)	Sector intra-crateral
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Superfície da Chaminé	—	915*990	75-200	—	530*600	636782	398574	—	238208
2	Horizonte 860	100	796*200	90-230	—	380*575	506961	350761	—	156200
3	Horizonte 760	200	570*912	80-165	—	330*440	327688	230955	—	86733
4	Horizonte 560	400	360*430	—	360*430	—	135980	—	136400	—
5	Horizonte 360	600	300*360	—	300*360	—	89774	—	88300	—

Fonte: Relatório da Catoca (2001)

3.4 Características Geológico-Mineiras e Técnico-Mineiras do Jazigo Geotécnica da Mina

As características de engenharia geológica da chaminé de Catoca, no período de 1998 a 2001, foram abertos os poços de pesquisas de engenharia geológica, de até 70m de profundidade, totalizando 1813,2 metros corridos, visando tomar amostras e efectuar ensaios das características físico-mecânicas de todas as variedades litológicas das rochas kimberlíticas, gnaisses encaixantes e rochas arenáceo-argilosas sobrejacentes, do jazigo de Catoca. Além disso, a cada intervalo de 5-10m foram recolhidos espécimes das rochas a partir dos testemunhos das rochas kimberlíticas, recuperados nos poços de prospecção geológica de até 600m de profundidade, e também dos gnaisses descobertos debaixo do corpo kimberlítico. Os estudos das propriedades das rochas efectuavam-se tanto no laboratório como no campo. O respectivo trabalho foi executado pelo Sector de Engenharia Geológica e Hidrogeologia do Departamento de Geologia da SMC (Sociedade Mineira de Catoca).

Foram calculados também os parâmetros das bancadas, construídas em determinados tipos de rochas. Os dados-base para os cálculos e resultados, estão apresentados na tabela a seguir. Os valores de coesão estão apresentados considerando as correções em coeficiente de enfraquecimento estrutural (λ).

Tabela 5: Parâmetros das bancadas, construídas em determinados tipos de rochas do jazigo de Catoca

Rocha	Densidade de rocha γ (g/cm^3)	Ângulo de atrito interno, ρ , graus	Coesão no maciço Km (t/m^2)	Ângulo do talude (graus) com altura do talude H, m		
				10 m	20 m	30 m
Areias Calahári secas	2,03	25,0	7,0	68	41	28
Areias húmidas	1,77	21,4	2,2	24	17	12
Areias interformacionais	2,06	24,2	7,7	69	39	28
Não saturadas com água	2,01	22,4	4,2	43	22	19
Arenito Vulc-sedimentar	2,46	27,7	18,4	90	75	57
Gnaiss meteorizados	1,19	21,3	4,3	45	23	18

Gnaiss-marga pouco resistente	2,08	33,8	9,0	87	72	52
Gnaiss resistente	2,61	29,6	361	90	88	78
Brecha kimberlítica (BKM) meteorizada	1,79	17,6	4,9	53	23	18
BKM denda	2,47	39,2	35,3	90	90	82

Fonte: Relatório de Catoca (2001)

Tabela 6: Propriedades físico-mecânicas das rochas e do minério

Nº do corte	Rocha	Cota do sopé, m	γ g/cm ³	ρ , graus	K _m t/m ²	λ
1-1	Superfície	995				
	Areias Calahári	987	2,03	25,0	10,0	0,70
	Gnaisse Meteorizado	949	1,92	21,3	7,4	0,58
	Gnaisse ripioso	910	2,08	33,8	15,5	0,58
	Gnaisse resistente	860	2,61	29,6	361,0	0,10
2-2	Superfície	975				
	Areias interformacionais	950	2,06	24,2	11,0	0,70
	Areias litificadas de grãos finos	920/890*	2,07	26,0	23,0	0,70
	Arenito das RVS	890/860*	2,46	37,7	184,0	0,10

Fonte: Relatório de Catoca (2001)

O numerador refere-se à Mina com a cota de fundo de 910m, o denominador à Mina com a cota de fundo de 860m.

3.4.1 Peso Volumétrico das Rochas

O cálculo do peso volumétrico das rochas foi feito com base nos resultados decorrentes dos ensaios dos espécimes de rochas, recolhidos dos testemunhos de sondagem com intervalos de 5-10m.

No total, para determinar o peso volumétrico, foram realizadas 1649 medições nos espécimes recolhidos nas amostras de sondagem, das quais 1193 medições nos espécimes das amostras de testemunho, incluídos na avaliação das reservas do jazigo. Todos eles foram utilizados para a determinação da densidade das rochas nos blocos geológicos, do corpo mineralizado. Em simultâneo com a recolha dos espécimes para a determinação do

peso volumétrico, a partir do testemunho, tomavam-se espécimes para os ensaios da resistência à compressão uniaxial. Assim, para a maioria dos intervalos de testemunho recuperado, foram obtidas as características quer da resistência quer da densidade das rochas diamantíferas. Os respectivos resultados de determinação do peso volumétrico e resistências do minério por blocos estão apresentados na **tabela 7**.

Tabela 7: Cálculo dos valores médios do peso volumétrico (γ) e resistência (σ comp) dos kimberlitos da chaminé de Catoca, por blocos geológicos.

Nome dos Blocos	Peso volumétrico, t/m ³			Resistência à compressão (σ comp), Mpa		
	Qtd. De medições	Soma dos valores medidos	Valor médio	Qtd. De medições	Soma dos valores medidos	Valor médio
1B-4B	280	569,19	2,033	274	149,1	5,45
	191	386,76	2,025	188	1107,3	5,45
	243	505,92	2,082	239	1480,7	6,20
	108	224,37	2,071	44	216,6	5,82
5C ₁ -7C ₁	45	93,17	2,071	44	216,6	4,92
	68	143,89	2,116	63	327,2	5,19
	170	378,78	2,228	163	1553,3	9,53
8-C ₁	68	159,44	2,345	68	1092,5	16,07

Fonte: Relatório de Catoca (2001)

3.4.2 Avaliação da Reserva de Diamantes da Chaminé de Catoca até a Profundidade 600m

A estrutura geológica da mina de Catoca é complexa e o corpo mineralizado subdivide-se em três partes bem diferentes, dados publicados 01.10.2001.

Segundo o estudo de viabilidade técnico-económico (EVTE) prevê uma profundidade da mina aberta igual até 600 metro e um horizonte de 360, explorado em 3 etapas com uma reserva de total de 2710154200 toneladas e um teor médio minério de 0,698 qlt/t. Estudos geológicos revelam o tamanho das reservas. Segundo o estudo de viabilidade técnico-económico realizado em 2008 para o Jazigo de Catoca até a profundidade de 600 metros, as reservas exploráveis estavam avaliadas em 244 milhões de toneladas de minério até 2034 tabela 8.

Tabela 8: Avaliação das reservas de diamantes da chaminé de Catoca até a profundidade de 600m (horizonte 360m)

Blocos Geológico de avaliação resevas	Horizonte		Área		Volume da massa rochosa mil m^3	Peso volumét rico do minério ton/ m^3	Reservas do minério no bloco, mil ton
	De	A	De	A			
1B-4B	960	760	197500	108500	65788	2,052	134978,03
5C ₁ -7C ₁	950	560	-----	136400	39180	2,182	85506,76
Total B+C ₁	960	560			104968	2,101	220484,79
8-C ₂	560	360	136400	88300	21548	2,345	50530,63
Total B+C ₁ +C ₂	960	360			126516	2,242	271015,42
Teor médio do minério						0,698 qlt/t	

Fonte: Relatório de Catoca (2001)

CAPÍTULO IV: ESTUDO DE CASO

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

4.1 Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira

O Departamento de Exploração Mineira agrupa 4 Sectores, nomeadamente: Administração, Planeamento Minério e Análise, Trabalhos de Detonação e trabalhos preparatórios.

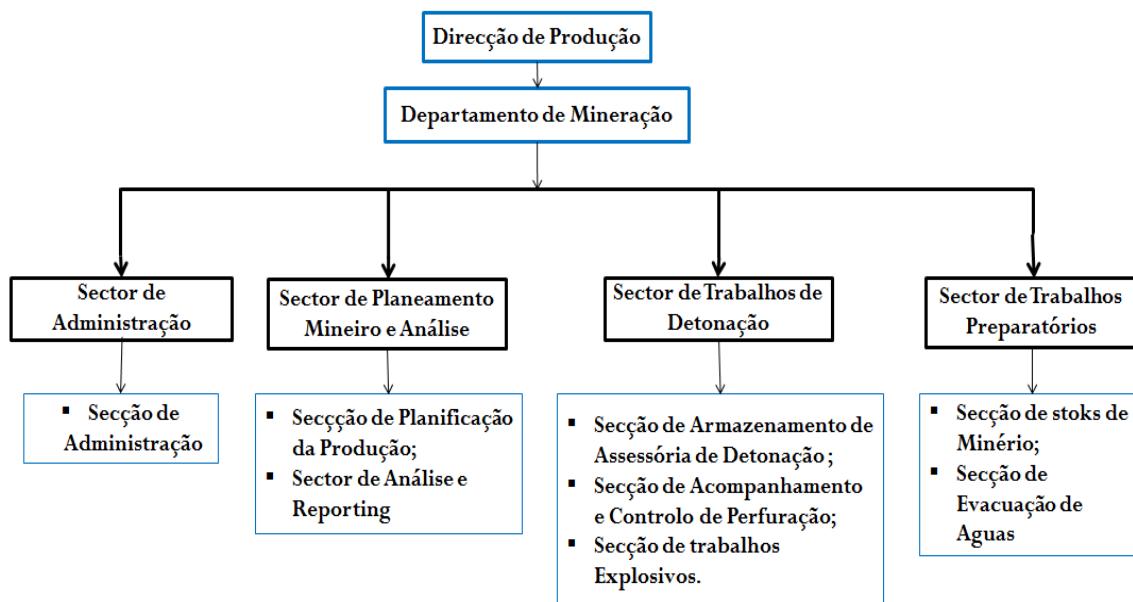


Figura 7: Organograma do Departamento de Exploração Mineira

Fonte: [Catoca]

4.2 Objectivos do Departamento de Mineração

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

4.3 Sistema de Mineração

A Chaminé Kimberlítica de Catoca é explorada a Céu Aberto, utilizando o sistema de mineração com escavação por avanço e transporte rodoviário. O “Flowsheet” tecnológico inclui o desmonte directo do maciço de estéril, com particularidade das rochas duras serem submetidas ao desmonte com explosivos e posteriores carregamentos com escavadeiras para as pilhas de estéril. A extração do minério é feita com recurso a escavação directa precedida de escarificação com tratores de esteiras.

4.4 Planeamento e Operações

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



Figura 8: Sistema de Controlo e Gestão das Operações

Fonte: Catoca

O design e o Planeamento é feito com recurso ao software **Datamine** e o monitoramento das operações pelo software **Wenco** “Sistema que permite uma gestão integral e em tempo real dos activos na Mina, bem como o processamento automático da produção.

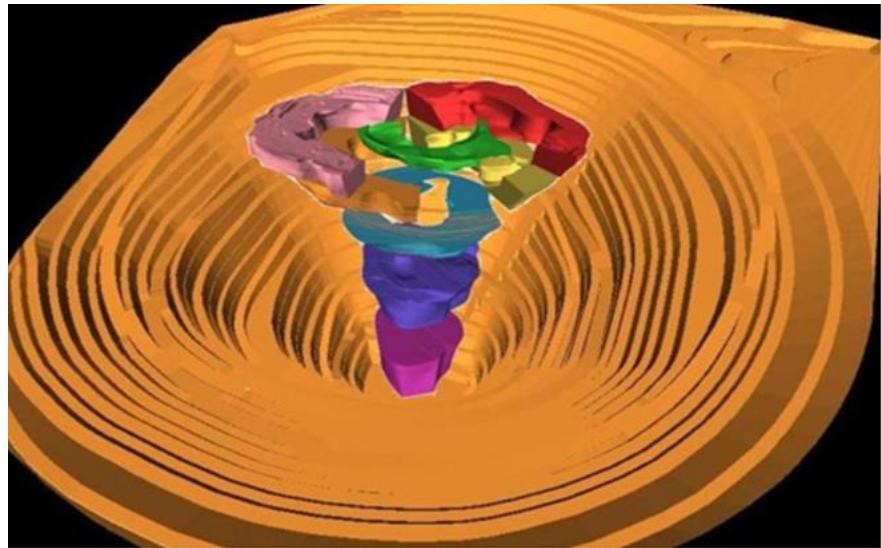


Figura 9: Projecção da mina Catoca 600m

Fonte: Catoca

Até 2016 foram removidos 143 milhões de m^3 de estéril e extraídos 68 milhões de m^3 de minério, totalizando 211 milhões de m^3 de massa mineira. Igualmente foram detonados 48 milhões de m^3 de estéril .

4.5 Operações Mineiras

A mina encontra-se em exploração, com uma profundidade aproximada de 250 metros. As operações de lavra a céu aberto utilizam bancadas com altura média de 10 metros. O ciclo operacional, tanto para o material estéril quanto para o minério, é composto por: perfuração, desmonte mecânico e/ou desmonte com explosivos, carregamento e transporte do material.

As operações mineiras necessitam de utilização de explosivos em aproximadamente 85% do volume total escavado (minério e estéril). O restante do material considerado como estéril friável, resultado da acção do intemperismo e geralmente localizado nas porções superiores da mina, é explorado através de desmonte mecânico, feito com a utilização de escavadeiras hidráulicas.

Mais de 5,6 km de correias transportadoras da fase 1 até a fábrica 2 são 2 km de correias transportadoras, da fase 3 até a escombreira Oeste são 3,5 km de correias transportadoras, e sistema de formação de escombreiras de última geração.

4.5.1 Equipamentos Utilizados

Tabela 9: Equipamentos em uso na mina de Catoca

Equipamentos	Marca	Capacidade	Unidades
Camiões	Rígidos Belaz 75139	125 Toneladas	18
	Rígidos Caterpiller 777	100 Toneladas	5
	Rígidos Komatsu HD 785	100 Toneladas	21
	Articulados Volvo A40	40 Toneladas	8
Escavadeiras	Caterpiller 385/390	14-16 m^3	1
	Komatsu PC 3000	12-14 m^3	3
	Liebherr 984	5-7 m^3	5
	Liebherr 9250/9350	9-13 m^3	1
	Caterpiller 6040	18-22 m^3	3
Pás-Carregadeiras	Komatsu WA600/700	47 m^3	9
	Caterpiller 992/986/980	4,5-5 m^3	4
Auxiliares	_____	_____	20
Correias Transp	_____	2,1km/3,5km	Fase 1/Fase 2

Fonte: Catoca



Figura 10: Equipamentos utilizados

Fonte: O autor

4.6 Complexidades

A existência de rochas de grande dureza, bem como de águas subterrâneas e pluviais em vários pontos da Mina, constituem entre outras, as grandes complexidades para o processamento normal das operações. O desmonte com o explosivo em detrimento do arranque mecânico (com escavadeira) e métodos combinados de drenagem e bombeamento das águas, são aplicados para mitigar o problema no geral e preservar a estabilidade dos taludes, cuja complexidade aumenta com o aumento da profundidade da Mina, e que, constitui o grande desafio para os técnicos do Departamento de Mineração.

4.7 Desafios do Departamento de Mineração

Continuar sistematicamente com o desenvolvimento sequencial da mina de acordo as orientações do projecto;

- ✓ Melhorar a eficiência operacional da Mina em todos os níveis;
- ✓ Diagnosticar os principais factores com impacto na produção e produtividade, implementar medidas correctivas envolvendo os respectivos actores;
- ✓ Mapear os principais indicadores técnico-económicos da Mina, com enfoque no melhoramento da estrutura de custos;
- ✓ Promover acções tendentes a elevar o desenvolvimento humano, técnico e científico no Departamento.

4.8 Processo de Mineração

O processo de mineração da exploração do kimberlito da Sociedade Mineira de Catoca, até ao presente momento é realizado a céu aberto. É utilizado um sistema de mineração com escavação por avanços e transporte rodoviário, efectuado por camiões pesados basculantes de 40 e 125 toneladas. O minério, após escavação, é reencaminhado para a central de tratamento e de seguida para o depósito de minério, sendo descarregado em três tremonhas. Estas estão munidas de grelhas estacionárias com orifícios quadrados por dentro. O minério é britado nas grelhas pelo carregador até se apresentar na devida granulometria para passar pelas aberturas. Os alimentadores de placa, situados debaixo das tremonhas, carregam regularmente o minério extraído nos moínhos de auto-desintegração húmida. O produto dessa operação entra nos classificadores espirais que fazem a classificação hidráulica conforme a granulometria. Dos classificadores, o minério é canalizado por escoamento livre para os crivos e as lamas de granulometria inferiores vão para uma bacia

de materiais rejeitados. No que respeita também ao maciço estéril inicial, o mesmo é reencaminhado para as escombeiras externas. A sequência apresentada para a recuperação de diamantes é realizada com tecnologia Russa.

4.9 Segurança, Higiene no Trabalho

Um critério de exploração frequentemente sacrifica parte do material útil da jazida. O conforto dos serviços nem sempre é o ideal mesmo porque o trabalho mineiro é duro por natureza. Mas, de nenhuma forma poderia ser inseguro pois fugiria do seu conceito fundamental. É velha tradição mineira a segurança, está em primeiro lugar (Safety first). A própria comodidade dos trabalhos tem limites de sacrifício, além dos quais é preferível a prescrição da exploração, por factor de ordem social, consubstanciado em leis ou imposições morais. Naturalmente, sempre parte do lucro terá de ser sacrificado para obtenção dessas condições. É factor imprescindível e que foge as opções. Mas não é menos certo que segurança e conforto de serviços redundam em aumento da produtividade, compensando beneficamente os lucros.

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

4.10 Caracterização da Sociedade Mineira de Catoca

A Sociedade Mineira de Catoca (SMC) localizada na província da Lunda Sul a 35 km de Saurimo, com Sede em Luanda-Talatona, é uma empresa angolana de prospecção, exploração, recuperação e comercialização de diamantes. Constituída pela Endiama (Angola), Alrosa (Rússia), e Lev Leviev International – LLI (China), Catoca é a quarta maior mina do Mundo explorado a céu aberto e a maior empresa no subsector diamantífero em Angola, sendo responsável pela extracção de mais de 75% dos diamantes angolanos.

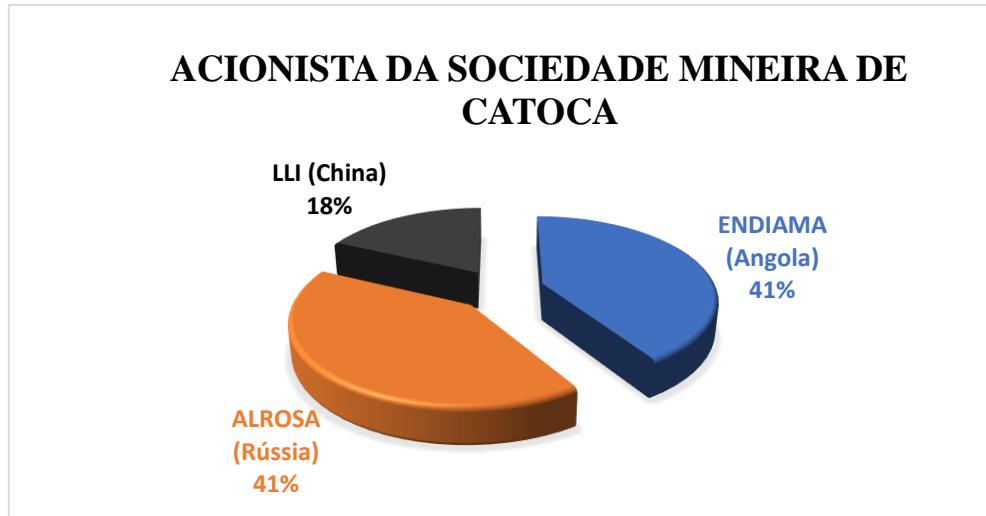


Gráfico 2: Acionista da Empresa Catoca

A SMC é uma empresa cujo planeamento estratégico tem como:

Visão

Recuperar de forma sustentável, reservas diamantíferas, assegurando que os produtos nacionais se distinguem internacionalmente pelo seu valor e elevada qualidade, promovendo o desenvolvimento, a responsabilidade socioambiental e um clima organizacional positivo, assente em práticas, valores e princípios éticos.

Missão

- ✓ Estar entre as três (3) maiores Empresas diamantíferas do Mundo em facturação;
- ✓ Aprofundar a cadeia de valor e diversificar a actividade (subproduto);
- ✓ Inovar as tecnologias e técnicas produtivas, de forma a aumentar produção e produtividade;
- ✓ Expandir a área de actuação para além do território angolano.

Valores

Os valores que nos movem são Crença; Ética; Respeito; Confiança; Segurança; Disciplina; Solidariedade; Comprometimento; Excelência; Inovação; Competitividade.

CAPÍTULO V: ENQUADRAMENTO TEÓRICO

5.1 Mina Céu Aberto Versus Subterrânea

Minerar significa executar as etapas de perfuração e detonação, a fim de fragmentar a rocha, seguidas do carregamento e transporte, e muitas vezes também da cominuição do minério para atingir um tamanho apropriado (Nilsson, 1982). Essas operações podem ser feitas tanto em ambiente exposto à superfície como em ambiente confinado. Quando a extração de um depósito mineral ocorre na superfície terrestre, denomina-se este método de exploração a céu aberto. A exploração mineral na qual as operações de extração são realizadas abaixo da superfície da terra é denominada de mineração subterrânea (Hustrulid 1982). A lavra subterrânea é aplicada quando a profundidade do depósito, a relação estéril minério ou ambos tornam-se excessivos para a exploração em superfície.

5.2 Factores que Influenciam a Corta Final de uma Mina

Como nas demais actividades industriais, os empreendimentos mineiros são função de cada situação específica, porém, segundo Pratti existe um conjunto de factores críticos básicos comuns à maioria das minerações, dentre eles se destacam os seguintes factores (Carmo & Curi (2001)):

a) Factores do mercado consumidor

O mercado consumidor é sem dúvida um dos factores mais importantes em qualquer empreendimento; é dele que advém as necessidades dos clientes e portanto as oportunidades de produção e venda. Sem ele não há negócio, num caso extremo podemos até dizer que não há mina. Mesmo que tenha todas as demais condições favoráveis: teores elevados, relação estéril/minério reduzido, tecnologia de beneficiamento dominada, localização privilegiada, custos competitivos, pouco valem se não houverem condições de mercado favoráveis seja quanto a volumes, preços de venda, impostos e conformidade do produto quanto às especificações e expectativas dos clientes.

Por ser um factor de pouco controlo agrupa um certo grau de incerteza quanto a determinação de seus parâmetros, muitos dos quais baseados em cenários e projecções, sobre as quais não há garantia que se transformarão em realidade.

Tanto volume, preços e especificações são afectados pela dinâmica macroeconómica nacional e internacional. Portanto, espera-se que sofram variações significativas ao longo

da vida da mina, sendo um dos motivos mais convincentes para que se façam planeamentos flexíveis, e que se entenda o planeamento como uma ferramenta que facilite a adaptação do empreendimento às condições externas que lhe são impostas.

b) Factores Geológicos

A montagem do modelo geológico é uma das etapas mais importantes e básicas do estudo de definição da corta final; é a partir dele que serão conhecidos os aspectos da mineralização de relevante importância para o bom desenvolvimento do negócio. Essas características devem ser intimamente relacionadas com os condicionantes do processo de beneficiamento visando obter produtos que atendam às necessidades e expectativas do mercado consumidor, com a máxima recuperação dos minerais de minério.

Depois de conhecidas as relações entre a mineralização e seu controlo estrutural ou litológico, e entre os diversos tipos de minério e o processo de beneficiamento, estabelece-se um modelo que seria melhor denominado de geotecnológico, pela impossibilidade de se dissociar estes dois aspectos.

Este trabalho deve ser conduzido conjunta e simultaneamente, pelas equipas responsáveis pela elaboração do modelo geológico, pelo planeamento de lavra e pelo desenvolvimento do processo de beneficiamento. Nele deverão ser evidenciadas as relações entre as tipologias de minério e o processo de beneficiamento de forma a adaptá-lo a cada tipologia, já que o inverso não é possível.

Cuidados especiais com a integração citada no parágrafo anterior evitão a ocorrência de conflitos futuros entre as operações de lavra e beneficiamento, e perda de reservas e rentabilidade, quando comparadas com as premissas adoptadas na fase de viabilidade e de planeamento.

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial de cada tipo de minério seja do ponto de vista de concentração de elementos de interesse económico contido, seja do ponto de vista de diferente comportamento perante um determinado processo de beneficiamento, é desenvolvido através de estimativas realizadas por meio de amostragens. Neste ponto a utilização de métodos geoestatísticos são de extrema valia, conduzindo a estimativas optimizadas, e também a avaliação dos erros envolvidos.

c) Factores Geotécnicos

O modelamento geomecânico é, para determinados maciços rochosos, tão importantes quanto o modelamento geológico. E deve através da previsão do comportamento geomecânico do maciço rochoso, definir qual a inclinação média a ser adoptada para a escavação dos taludes finais.

Esta inclinação deve minimizar os riscos de escorregamentos da escavação, que além de colocar em perigo vidas humanas e equipamentos, modificam o ritmo de produção por determinado período de tempo, e ao mesmo tempo minimizar os volumes de remoção de estéril.

A medida que se eleva o ângulo de talude final, ocorre redução significativa do volume de rocha estéril a ser removido e portanto reduz-se os custos de extracção de minério, elevando-se a competitividade do negócio. Por outro lado com a elevação do ângulo de talude final o factor de segurança da escavação fica reduzido. Existe neste caso, portanto, o compromisso entre custos e segurança.

A sensibilidade dos custos de extracção com relação ao ângulo de talude final, pode ser muito elevada, chegando em alguns casos a significar alguns milhões de dólares para poucos graus de variação.

A determinação do ângulo máximo e suficientemente seguro a ser praticado num talude final é objecto de estudos específicos que abrangem o entendimento do arcabouço estrutural do maciço, a caracterização geotécnica e o reconhecimento dos diversos tipos de maciços de acordo com o respectivo grau de alteração, fracturamento e condições de percolação da água subterrânea.

Dessa forma reúnem-se informações que permitem a estruturação de um modelo, capaz de representar o comportamento mecânico do maciço perante os esforços solicitantes, promovidos pela escavação nas diversas partes da mina.

Para a quantificação ou dimensionamento dos ângulos de taludes estão disponíveis no mercado inúmeros modelos matemáticos alguns determinísticos outros probabilísticos. Ambos baseados na teoria do equilíbrio limite, que relaciona esforços resistentes à mobilização do maciço com esforços mobilizantes, de forma a estabelecer um factor de segurança para uma dada geometria de talude. Como todo modelo matemático, a

representatividade do resultado final depende essencialmente da qualidade dos dados de entrada.

Normalmente numa mesma mina ocorrem porções de maciços com diferentes competências, as porções de maciço com comportamento mecânico semelhantes são agrupadas, dando origem a sectorização dos taludes da mina conforme apresentado na figura seguinte:

d) Factores Tecnológicos

O aspecto tecnológico é bastante amplo e afecta de diversas formas a competitividade do empreendimento mineiro, da mesma forma como em outros tipos de empreendimentos.

Pelo menos dois aspectos principais merecem destaque:

O primeiro diz respeito ao processo de beneficiamento que deve ser desenvolvido no sentido de maximizar a recuperação do bem mineral de interesse económico e de forma a obter um concentrado que atenda às especificações do mercado consumidor. Sabe-se que nem todos os bens minerais se enquadram nesta situação, mas a grande maioria sem dúvida depende de algum tipo de beneficiamento, mesmo uma simples redução granulométrica.

A prática tem demonstrado que o grau de conhecimento da relação entre os diversos tipos de minério que podem ocorrer numa mesma mina e o processo de beneficiamento mais adequado para obter-se um concentrado especificado, sendo um factor crítico de sucesso inquestionável. Essa importância se justifica não apenas pelo valor económico das perdas de reservas que se supõe vendáveis, mas também, pela minimização de conflitos operacionais nas interfaces mina, central de beneficiamento e clientes que acarretam desgastes cujos prejuízos não podem ser calculados.

O segundo aspecto diz respeito à evolução tecnológica de equipamentos seja na lavra ou no beneficiamento. Neste ponto a história mostra que essa evolução traz frutos para indústria mineira, principalmente, quando o desenvolvimento é realizado em parceria com os fabricantes e adaptando-se os equipamentos às necessidades específicas, bem como óptimas políticas de manutenção.

e) Factores Operacionais

As restrições operacionais estão relacionadas com o espaço operacional exigido para que as operações de lavra sejam conduzidas com segurança e produtividade com que foram

projectadas, condicionadas pelo binómio: grau de selectividade necessário para o controlo dos teores e porte dos equipamentos utilizados.

A definição de uma corta final deve considerar a necessidade de manter-se bermas de largura mínima para permitir acesso dos equipamentos para manutenção de drenagens e recomposição de pequenos escorregamentos, bem como permitir retomadas futuras destas paredes, ditas finais, em caso de alterações nos limites finais da corta.

Uma corta final de mineração também deve prever espaço para as rampas de acesso aos diversos níveis de produção, que são dimensionadas de acordo com os equipamentos a serem utilizados, e desenvolvidas de forma a minimizar o momento de transporte entre as frentes de lavra e a britagem ou as pilhas de estérreis.

f) Factores Económicos

Normalmente relacionado com os condicionantes de mercado, o preço do produto mineral vendável afecta de forma muito significativa a rentabilidade do empreendimento. A elevação do preço, além de aumentar as receitas gerada a partir da mesma tonelagem produzida, também afecta o volume das reservas de minério, fazendo com que reservas com teores inferiores ou relação estéril / minério mais elevados, que não produziam resultados económicos, passem a produzi-los.

Os custos operacionais são factores tão relevantes quanto o preço do produto final, porém, variam numa faixa mais estreita de valores e dependem mais das condições internas da empresa do que externas, o que facilita sua estimação. Entretanto guardam relação estreita com escala de produção, que por sua vez é vinculada ao mercado.

Da mesma forma como os factores do mercado, os factores económicos dependem de uma série de condições macroeconómicas, cujas evoluções futuras são de difícil previsão e normalmente estimadas a partir de informações históricas associadas a cenários macroeconómicos futuros. Sendo recomendável a realização de análises de sensibilidade, de acordo com os cenários esperados.

A escolha de critérios financeiros para a avaliação de uma corta final, normalmente, afectados pelas taxas de juros do mercado financeiro e por prazos de retorno do capital investido definidos conforme as expectativas com relação aos riscos políticos e económicos futuros, tem grande influência na tomada de decisão podendo inclusive

inviabilizar parte das reservas geológicas que seriam viáveis caso estes critérios fossem menos imediatistas.

Como nas demais actividades económicas a carga tributária afecta directamente a competitividade das empresas de mineração de um modo geral e particularmente aquelas que competem no mercado internacional, sendo mais um elemento que inviabiliza as reservas geológicas pela redução do valor líquido presente.

g) Factores Ambientais

É um aspecto relevante actualmente devido à grande divulgação e consciencialização pública sobre a importância da preservação ambiental e da qualidade de vida, tendo como consequência o avanço das exigências de ordem legal, que foram impostas às actividades industriais e especificamente para a indústria mineira.

Em termos estritamente económicos, as adequações ambientais implicam em investimentos e custos operacionais adicionais, que devem obrigatoriamente ser inclusos nos estudos de viabilidade económica e de definição da corta de longo prazo sob pena de não vir a representar a realidade futura. Por outro lado não há dúvida que os custos ambientais, cada vez mais passarão a compor as planilhas de custos e consequentemente serão transferidas para os preços dos produtos.

Um aspecto directamente relacionado com o limite de lavra de longo prazo diz respeito aos limites das áreas a serem atingidas pela escavação, portanto, sujeitas a desmatamentos e posterior recuperação. Dependendo do comportamento espacial do corpo mineralizado e da variação temporal dos parâmetros que a definiram, esse perímetro afectado pelo limite final, pode sofrer expansões ou contracções, que devem ser explicitadas na elaboração dos estudos de impacto ambiental.

5.3 Dentre eles Apenas Dois Factores nos Levam a Transição de uma Mina

Dois factores influenciam na transição, e que de certo modo são os responsáveis das dificuldades e inconvenientes que vão impor uma resistência ao desenrolar da planificação programada:

- ✓ Factores Técnicos
- ✓ Factores Econômicos

- a) Factores Técnico:** Equipamento ou maquinaria, número e disponibilidades, estabilidade de taludes, geometria das bancadas e níveis, limites da concessão e da exploração.
- b) Factores Económicos:** Lei de mineral e tonelagem, rácio estéril-minério, teor de corte, custo de operação, capital de inversão necessário, benefício esperado, ritmo de produção, e condições ou limitações do mercado.

5.4 Estimação dos Custos Operacionais e Investimento

Custos operacionais

Os custos operacionais são definidos, de acordo com REVUELTA e JIMENO (1997), como aqueles que são gerados de forma contínua durante o funcionamento de uma operação ou seja despesas normalmente ligadas ao funcionamento da exploração. Podem ser classificadas em três categorias:

1-Custos directos

Os custos directos são ligados a quantidade produzida (ou custos variaveis):

- ✓ Mão-de obra: pessoal de operação e manutenção, isto é, o quadro de pessoal para a produção e trabalhos associados;
- ✓ Materiais consumíveis (energia, água, lubrificantes, explosivos, reagentes químicos para o tratamento, corpos moedores, etc.), peças de reposição;

2-Custos indirectos

Os custos indirectos dependem da produção realizada.

- ✓ Mão-de obra: serviços administrativos, vigilância, escritórios, depósito para o consumo interno de um prédio;
- ✓ Seguros, juros, taxa, etc.;
- ✓ Despesas com escritório;
- ✓ Trabalhos gerais de preparação e de pesquisa;

3-Custos gerais

- ✓ Despesas com comercialização;
- ✓ Serviços administrativos da central;
- ✓ Escritórios de projectos;
- ✓ Pesquisa e desenvolvimento;

Estimação de custo de investimentos

Para análise de custo investimento da mina subterrânea usamos o modelo de O'Hara.

O modelo de O'Hara, criado por T.A. O'Hara e publicada em 1980 pelo Canadian Institute of Mining And Metallurgy Bulletin é um modelo de estimativa de custos de capital e operacionais de projectos mineiros. Nesse modelo, o resultado da estimativa global de custos de investimento ou custos operacionais é feita através da soma das estimativas parciais de custos apresentado posteriormente (D'Arrigo, 2012).

Segundo Carriconde (2010), o modelo de O'Hara mostrou uma boa precisão de resultados das estimativas de custos globais para uma avaliação entre a fase conceitual e a fase indicativa. Nas equações que compõem o modelo foi adicionado um Fator de indexação (Findex).

CAPÍTULO VI: CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA-ECONÓMICA DA RESERVA

6.1 Avaliação da Reserva da Chaminé de Catoca do Bloco BI. 9-C₂

Os estudos geológicos prova que o tubo kmberlítico é contínuo até altas profundidades, nesse momento o departamento de geologia vem fazendo o estudo da quantidade e qualidade da reserva dos 600 à 800 metros. A infomação dessa reserva ainda não encontra-se disponível.

Sendo essa, a reserva que interessa para o projecto aplicaremos extrapolação do bloco **BI.8-C₂** para bloco **BI.9-C₂**, isto é assumindo que o tubo kimbelítico apresenta um comportamento conntínuo da profundidade 400 até 800 metros, aproveitando as informações do bloco **BI.8-C₂** já conhecido para ajudar no nosso estudo do bloco desconhecido **BI.9-C₂**. Assim sendo o bloco **BI.9-C₂** em estudo apresentará as mesma caracteristica com o bloco **BI.8-C₂**.

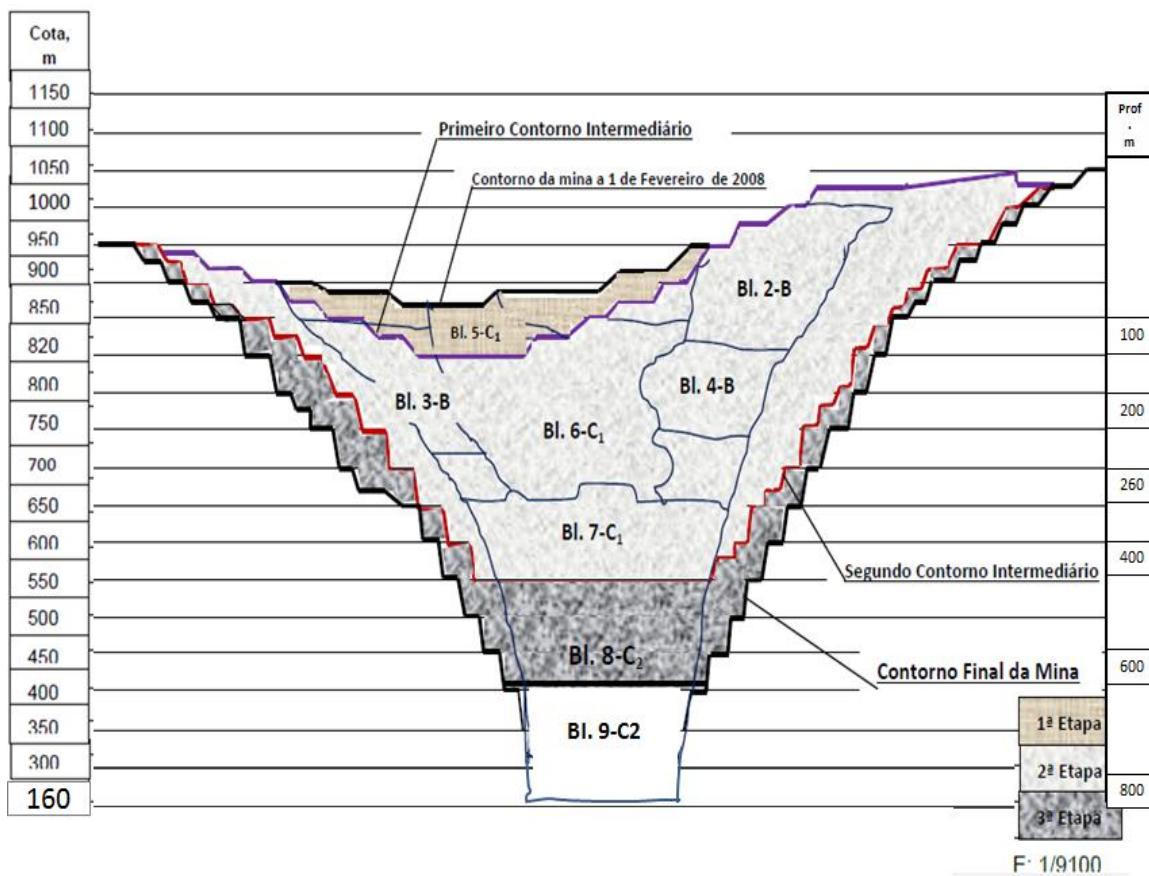


Figura 11: Esquema de distribuição de volumes da massa mineira por etapas de exploração da mina até 800m

Fonte: [5]- Adaptado

Considerando o corpo kimbelítico da Catoca um cone regular e aproveitando os dados da área do bloco 8-C₂ da tabela 8.

Área do topo = 136400 m²

Área da base = 88300 m²

Profundidade = 200 m

A área do círculo é dada pela fórmula

$$A = \pi * r^2 ; (m^2) \quad (1)$$

Diâmetro do círculo será dado pela fórmula

$$d = 2r \rightarrow r = \frac{d}{2} ; (m) \quad (2)$$

Substituindo a fórmula 1 na fórmula 2 temos:

$$A = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 ; (m^2) \quad (3)$$

Diâmetro do círculo (**dc**) será calculada pela fórmula

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \rightarrow d^2 = \frac{4*A}{\pi} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4*A}{\pi}} ; (m) \quad (4)$$

Diâmetro (**dc**) será:

$$dc = \sqrt{\frac{4*136400m^2}{\pi}} = 416,74 m$$

$$dc = \sqrt{\frac{4*88300m^2}{\pi}} = 335,30 m$$

Analizando o corpo kimberlítico convertido em cone invertido regular da profundidade 400 à 800 metro repartido em dois blocos **BI.8-C₂** e **BI.9-C₂** teremos:

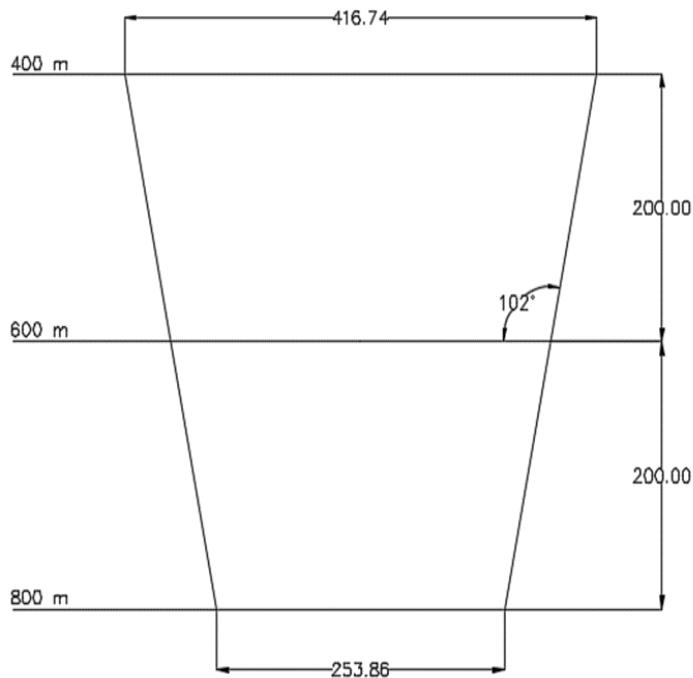


Figura 12: corpo kimbelítico da Catoca em forma de cone invertido regular

Fonte: O autor

Dados da profundidade 400 à 600metros, bloco 8-C₂

$$dct=416,74 \text{ m}$$

$$dcb=335,30 \text{ m}$$

Dados da profundidade 600 à 800 metros, bloco 9-C₂

$$dct=335,30 \text{ m}$$

$$dcb=253,86 \text{ m}$$

Usando a fórmula (4) as áreas da profundidade 600 m e 800 m será calculada pela fórmula

$$A_t = \pi * \frac{(335,30)^2}{4} = 88300 \text{ m}^2$$

$$A_b = \pi * \frac{(253,86)^2}{4} = 50615 \text{ m}^2$$

Área média será:

$$A_m = \frac{A_t + A_b}{2}, \quad (m^2) \quad (5)$$

$$A_m = \frac{88300m^2 + 50615m^2}{2} = 69458 m^2$$

Volume (**V**) será calculada pela fórmula

$$V = Am * h ; (m^3) \quad (6)$$

Onde:

Am- Área média: $69458 m^2$

P- profundidade: 200 m

Logo, volume do bloco deverá ser a seguinte:

$$V=69458 m^2 * 200 m = 13891600 m^3$$

A reserva do minério (**R**) em toneladas será calculada pela fórmula

$$R=V*\gamma ; (t) \quad (7)$$

Onde:

V- Volume: $13891600 m^3$;

γ - Peso volumétrico médio do minério: $2,345 t/m^3$

Logo, reserva do minério no bloco deverá ser a seguinte:

$$R=13891600 m^3 * 2,345 t/m^3 = 32575802 t$$

Tabela 10: Reservas da chaminé de Catoca da profundidade 600 à 800 metros

Blocos Geológicos de avaliação reservas	Horizonte		Área m^2		Volume da massa rochosa, mil m^3	Peso volumétrico do minério, ton/ m^3	Reservas do minério no bloco, mil ton
	De	A	De	A			
9-C ₂	560	360	88300	50615	10774,12	2,345	32575,802
Teor médio do minério						0,698 qlt/t	

Fonte: O autor

6.2 Argumentação da Capacidade Produtiva Mina Profundidade 600 à 800metros

Há uma relação entre o volume de reservas prospectadas e prazo de exploração das mesmas para uma empresa mineira. Na prática mundial de projecção o prazo razoável de exploração de minas (**T**) em primeira aproximação pode ser determinado pela fórmula de Taylor:

$$P = 0,15 \times R^{0,75} \times (1 \pm 0,2) ; \text{ Milhões de tonelada/ano} \quad (8)$$

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

$$T = \left(\frac{\text{Reservas}}{\text{Ritmo de exploração}} \right) = \left(\frac{R}{P} \right) ; \text{ anos} \quad (9)$$

Onde:

R-reservas exploráveis da mina, t;

P-ritmo de exploração, t/ano;

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

O prazo da vida explorável da mina e a capacidade produtiva em função da reserva da chamine Catoca dos 600m até 800m de profundidade, segundo a metodologia citada pode ser apresentado de modo seguinte:

$$P = 0,15 \times (32,575802)^{0,75} \times (1 \pm 0,2)$$
$$\begin{cases} P_+ = 2,454 \times 10^6 \text{t/ano} \\ P_- = 1,636 \times 10^6 \text{t/ano} \end{cases} \quad \begin{cases} P_M = 2,045 \times 10^6 \text{t/ano} \end{cases}$$

$$T = \left(\frac{32,575802 \times 10^6 \text{t}}{2,045 \times 10^6 \text{t/ano}} \right) \rightarrow T = 15,9 \text{ anos} \approx 16 \text{ anos}$$

Tabela 11: Capacidade produtiva racional e prazo da vida explorável da mina

Nome do índice	Unidade	Índices
1-Reservas exploráveis de 600 à 800 m de profundidade	T	$32,575802 \cdot 10^6$
3-Volume da massa rochosa	T	$23,379840 \cdot 10^6$
2-Capacidade produtiva racional	t/ano	$2,045 \cdot 10^6$
3-Vida útil da mina (Prazo racional explorável de reserva)	anos	16

Fonte: O autor

Os dados da Tabela mostram que de acordo com as tecnologias de estimativa adoptadas pela fórmula de **Taylor** a capacidade produtiva racional baseada na reserva do bloco **B. 9-C2**, constituirá **2,03** milhões de toneladas de minério extraído por ano.

A capacidade produtiva da mina baseada nas condições geológica e técnicas de exploração de acordo com “Normas de projecção tecnológicas” (**NPT**) é determinada pela fórmula:

$$P = V_{me} * S * K_n * \gamma ; \text{ t/ano} \quad (10)$$

Onde:

V_{me}-Velocidade média anual de aprofundamento de trabalhos de extração, m/ano;

S-Área média do corpo mineralizado num determinado intervalo de profundidade: 69458 m^2 ;

K_n – Coeficiente de transição de reservas de balanço a reservas exploráveis: ($K_n=1,022$);

γ – Peso volumétrico médio do minério: $2,345 \text{ t/m}^3$;

A produção anual da mina segundo o critério de exigência técnica depende muito da técnica empregue na exploração na mina, com o sistema de exploração utilizando, com o método de abertura do jazigo e das maquinás ou equipamentos utilizados na exploração.

A produção anual, neste caso, depende fundamentalmente da velocidade de escavação, que varia consoante a zona da mina em exploração. Contudo, independentemente da zona da mina onde estiver a decorrer a exploração, esta velocidade deverá garantir minimamente a produção anual pré-estabelecida, tanto pelas condições de tratamento de minério como pelas condições económicas.

A velocidade média anual de trabalhos de extração é calculada pela fórmula:

$$V_{me} = \left(\frac{H}{T*K} \right) * Ctg\varphi ; m/ano \quad (11)$$

Onde:

H – Profundidade limite de extração a céu aberto (600m a 800m)

T – Tempo de alargamento e aprofundamento (16 anos)

K- Coeficiente de melhoramento (0,75 – 0,90)

φ : Ângulo de borda final da mina (45°)

Logo, velocidade média anual de aprofundamento dos trabalhos deverá ser a seguinte:

$$V_{me} = \left(\frac{200}{16 * 0,90} \right) * Ctg(45)$$

$$V_{me} = 13,89m/ano \approx 14m/ano$$

O que resultará no seguinte ritmo de produção:

$$P=14*69458*1,022*2,345=2330473 \text{ t/ano}$$

A capacidade produtiva média calculada da mina “Catoca” por suas possibilidades técnico-geológicas, em função da velocidade de aprofundamento de trabalhos de extração calculada será definida igual a 2330473 t/ano (Tabela 13).

Tabela 12: Cálculo da capacidade produtiva média da mina “Catoca” em função das condições técnico-geológicas.

Nome do índice	Unidade	Índice
Velocidade média definida de aprofundamento de mineração	m/ano	14
Velocidade média definida de aprofundamento de mineração	m/min	$2,66 \times 10^{-5}$
Área média do corpo mineralizado de 600 a 800 m	m^2	69458
Capacidade de extração a céu aberto		
Capacidade de extração anual	t/ano	2330473
Capacidade de extração diária	t/dia	6380,49
Capacidade de extração subterrânea		
Capacidade de extração anual	t/ano	2035988
Capacidade de extração diária	t/dia	5574,23

Fonte: O autor

O preço médio de venda dos diamantes de catoca no período compreendido entre 2017-2019 são de acordo com os dados estatísticos da Angop

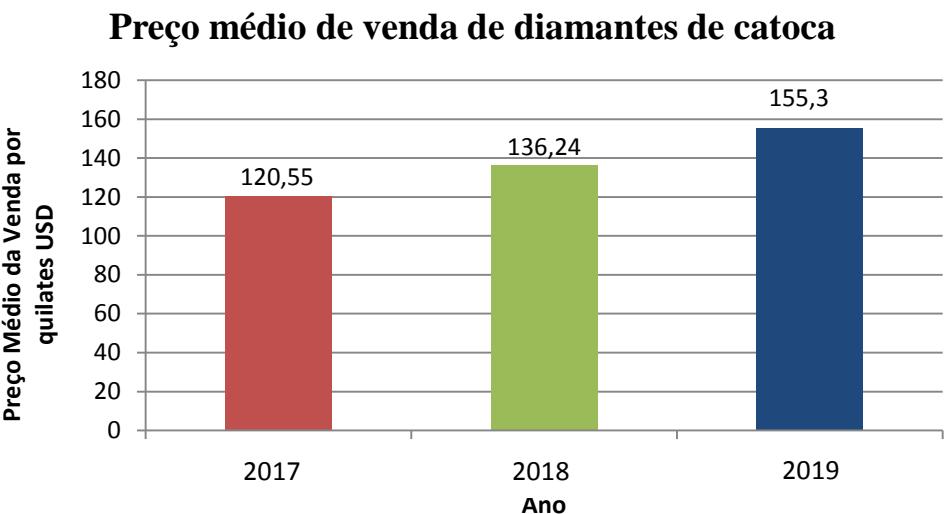


Gráfico 3: Preço médio de venda dos diamantes de catoca (2017-2019)

Fonte: Catoca / Angop

Tabela 13: Índices técnicos-económicos atingidos até 2019 na exploração da chaminé kimberlítica de Catoca

Nome do índice	Tecn. e índice técnico económico de 2019	Unidade
Teor médio de diamante no minério, (t)	0,65	qlt/ton
Preço unitário médio de venda, (Pu)	137,36	USD/qlt
Peso volumétrico médio do minério, (γ)	2,345	t/m ³
Peso volumétrico médio do estéril, (γ)	2,17	t/m ³
Rendimento da Lavra, (rl)	0,98	%
Rendimento Metalúrgico, (rm)	0,99	%

Fonte: Catoca

6.3 Análise da Receita Bruta Mina dos 600 a 800m do Kimberlito de Catoca

Hoje em dia, resume-se a definição de minério para um conceito chave que é: Extração gerando lucro. Para engenharia, o lucro pode ser expresso numa simples equação:

$$\text{Lucro} = \text{Receita Bruta} - \text{Custo Total; (USD)} \quad (12)$$

Cálculo da receita bruta

A quantidade de diamante (**Qd**) será calculada pela fórmula

$$Qd = R * t; (qlt) \quad (13)$$

Onde:

R- Reservas do minério: 32575802 (t ou m^3);

t- Teor: 0,698 (qlt/ m^3 ou qlt/t);

Logo, quantidade de diamante no bloco deverá ser a seguinte:

$$Qd = 32575802 t * 0,698 \text{ qlt/t} = 22737909,8 \text{ qlt}$$

O rendimento total (**r**) das operações será calculada pela fórmula

$$r = rl * rm ; (\%) \quad (14)$$

Onde:

rl- Rendimento da Lavra: 99 %;

rm- Rendimento Metalúrgico: 98 %;

Logo, o rendimento total das operações dos trabalhos deverá ser a seguinte:

$$r = 99 \% * 98 \% = 97 \%$$

A receita bruta da mina será calculada pela fórmula

$$\text{Receita Bruta} = Qd * r * Pu; (\text{USD}) \quad (15)$$

Onde:

Qd- Quantidade de Diamante: 22737909,8 qlt;

r- Rendimento Total das Operações: 97 %;

Pu- Preço unitário médio de venda: 137,36 USD/qlt;

Logo, a receita bruta do bloco **B.I-9** da mina deverá ser a seguinte:

$$\text{Receita Bruta} = 22737909,8 \text{ qlt} * 97\% * 137,36 \text{ USD/qlt}$$

$$\text{Receita Bruta} = 3029580911 \text{ USD}$$

6.4 Análise dos Custos e Lucros da Continuidade da Mina Céu Aberto

Tabela 14: Custos da exploração da mina Céu Aberto

Nome do índice	Tecn. e índice técnico económico de 2019	Unidade	
Custo de desmonte com explosivos (Cde)	3,8	8,246	USD/m ³
Custo de desmonte mecânico, (Cdm)	0,8	1,876	USD/m ³
Custo de carregamento, (Cc)	1,14	2,673	USD/m ³
Custo de transporte, (Ct)	2,5	5,862	USD/m ³
Custo de tratamento de minério, (Cm)	16,80	39,366	USD/m ³

Fonte: Catoca

No presente estudo os custos relativos a investimento da mina a céu aberto, etapa extremamente importante para que seja possível iniciar as actividade, não serão considerados, uma vez que a mina em estudo ja possui toda infraestrutura para exploração e processamento.

6.4.1 Custos Operacionais

Os custos operacionais (**Cop**) será cálculada pela fórmula

$$\text{Cop} = \text{Cde} * \text{E} + \text{Cdm} * \text{R} + \text{Cc} * (\text{R} + \text{E}) + \text{Ct} * (\text{R} + \text{E}) + \text{Cm} * \text{R}; \text{ (USD)} \quad (16)$$

Onde:

Cde- Custo de desmonte com explosivos: 8,246 USD/t;

Cdm- Custo de desmonte mecânico: 1,876 USD/t;

Cc- Custo de carregamento: 2,673 USD/t;

Ct- Custo de transporte: 5,862 USD/t;

Cm- Custo de tratamento de minério: 39,366 USD/t;

Logo, custo operacional da lavra céu aberto deverá ser a seguinte:

$$\text{Cop} = 8,246 \text{ USD/t} * 23379840 \text{ t} + 1,876 \text{ USD/t} * 32575802 \text{ t} + 2,673 \text{ USD/t} * (32575802 \text{ t} + 23379840 \text{ t}) + 5,862 \text{ USD/t} * (32575802 \text{ t} + 23379840 \text{ t}) + 39,366 \text{ USD/t} * 32575802 \text{ t}$$

$$\text{Cop} = 2013862791 \text{ USD}$$

Custo total da continuidade da mina céu aberto (CTca) será:

$$\text{CTca} = \text{Cop; (USD)}$$

$$\text{CTca} = 2013862791 \text{ USD}$$

Usando a fórmula (12) teremos o seguinte Lucro da continuidade da mina a céu aberto (**Lucro Cca**):

$$\text{Lucro Cca} = 3029580911 \text{ USD} - 2013862791 \text{ USD}$$

$$\boxed{\text{Lucro Cca} = 1015718120}$$

6.5 Análise dos Custos e Lucros da Mina Subterrânea

Tabela 15: Custos exploração da mina Subterrânea

Nome do índice	Tecn. e índice técnico económico de 2019		Unidade	
Custo de desmonte com explosivos (Cde)	3,8	8,911	USD/m ³	USD/t
Custo de desmonte mecânico, (Cdm)	0,8	1,876	USD/m ³	USD/t
Custo de transporte, (Ct)	2,54	5,955	USD/m ³	USD/t
Custo de tratamento de minério, (Cm)	16,80	39,366	USD/m ³	USD/t

Fonte: Catoca

6.5.1 Custos Operacionais

Os custos operacionais (**Cop**) será cálculada pela fórmula (16)

$$\text{Cop} = \text{Cde} * \text{R} + \text{Cdm} * \text{R} + \text{Ct} * \text{R} + \text{E} + \text{Cm} * \text{R}; \text{ (USD)}$$

Onde:

Cde- Custo de desmonte com explosivos: 8,911 USD/t;

Cdm- Custo de desmonte mecânico: 1,876 USD/t;

Ct- Custo de transporte: 13,96 USD/t;

Cm- Custo de tratamento de minério: 39,366 USD/t;

R- Reserva: 32575802 t;

Logo, custo operacional da lavra céu aberto deverá ser a seguinte:

$Cop = 8,911 \text{ USD/t} * 32575802 \text{ t} + 1,876 \text{ USD/t} * 32575802 \text{ t} + 5,955 \text{ USD/t} * 32575802 \text{ t} + 39,366 \text{ USD/t} * 32575802 \text{ t}$

$Cop = 1827763099 \text{ USD}$

6.5.2 Custo de Investimento da Mina Subterrânea

Segundo descrito em D'Arrigo (2012), existem várias técnicas para estimar estes custos em projectos de mineração e por causa da ausência de um método padronizado, os avaliadores, utilizam métodos diferentes de estimativa de custos adoptando para cada caso uma técnica diferente do outro.

Os custos de investimento ou de capital para actividades de exploração em minas subterrâneas a estimativa de custos de investimento é feita pela soma das estimativas parciais Nagle (1988):

a) Custo com Perfuração do poço circular

O diâmetro do poço (**Dp**) será calculada pela fórmula

$$Dp = 1,60 * P^{0,15}; (\text{m}) \quad (17)$$

Onde:

P- Capacidade de extração diária: 5574,23 t/dia;

Logo, o diâmetro do poço deverá ser a seguinte:

$$Dp = 1,60 * (5574,23)^{0,15} = 5,84m \approx 6m$$

O custo da perfuração de poço (**Cpp**) será calculada pela fórmula

$$C_{pp} = F_{index} * (214900 * D_p^{0,5} + 2550 * F * D_p^{0,7}) \quad (18)$$

Onde:

Findexação- Factor de indexação: 1 USD;

D_p- Diâmetro do poço: 6 m;

F- Profundidade do poço: 800 m;

Logo, O custo da perfuração de poço deverá ser a seguinte:

$$C_{pp} = 1 \text{ USD} * 214900 * (6)^{0,5} + 2550 * 800 * (6)^{0,7} = 7676889,28 \text{ USD}$$

b) Custo de instalação de ar comprimido

O consumo de ar (**Q**) será calculada pela fórmula

$$Q = 5,92 * P^{0,46}; \text{ (m}^3/\text{min}) \quad (19)$$

Onde:

P- Capacidade de extração + remoção diária: 5574,23 t/dia

Logo, o consumo de ar deverá ser a seguinte:

$$Q = 5,92 * (5574,23)^{0,46} = 313,02 \text{ m}^3/\text{min}$$

Custo com compressores (**C_{cp}**) será calculada pela fórmula

$$C_{cp} = F_{index} * (9500 * Q^{0,8} + 3146 * Q^{0,7}); \text{ USD} \quad (20)$$

Logo, custo com compressores deverá ser a seguinte:

$$C_{cp} = 1 \text{ USD} * (9500 * (313,02)^{0,8} + 3146 * (313,02)^{0,7}) = 1117937,29 \text{ USD}$$

c) Custo com Torre de Extração

O diâmetro do poço de extração (**D_{pe}**) será calculada ou estima pela fórmula

$$D_{pe} = 25,4 * (44 * P + 192 * h^{0,5} * P^{0,6} + 1,61 * h^{0,3} * P^{1,2})^{0,357}; \text{ (mm)} \quad (21)$$

Onde:

P- Capacidade de extração diária: 5574,23 t/dia;

h- Profundidade de ascensão: 800 m

Logo, o diâmetro do poço de extração deverá ser a seguinte:

$$Dpe = 25,4 * (44 * 5574,23 + 192 * (800)^{0,5} * (5574,23)^{0,6} + 1,61 * (800)^{0,3} * (5574,23)^{1,2})^{0,357}$$

$$Dpe = 4147,34 \text{ mm}$$

A velocidade de extração em (**Ve**) será calculada ou estima pela fórmula

$$Ve = 0,92 * h^{0,5} * P^{0,4} ; (\text{m/min}) \quad (22)$$

Onde:

P- Capacidade de extração diária: 5574,23 t/dia;

h- Profundidade de ascensão: 800 m

Logo, a velocidade de extração deverá ser a seguinte:

$$Ve = 0,92 * (800)^{0,5} * (5574,23)^{0,4} = 819,98 \text{ m/min}$$

A potência do motor da torre (**Pt**) será calculada ou estima pela fórmula

$$Pt = 0,52 * Vme * \left(\frac{Dpe}{100}\right)^{2,4} ; (W) \quad (23)$$

Onde:

Vme- Velocidade média de extração: 819,98 m/min;

Dpe- diâmetro do poço de extração: 4298,49 m;

Logo, a potência do motor da torre deverá ser a seguinte:

$$Pt = 0,52 * 819,98 * \left(\frac{4147,34}{100}\right)^{2,4} = 3254271,18 \text{ W}$$

A altura da torre (**L**) será calculada ou estima pela fórmula

$$L = 3 * \left(\frac{Dpe}{1000}\right) + 0,10 * \left(\frac{Dpe}{1000}\right)^3 + 1,98 * P^{0,33} ; (m) \quad (24)$$

Logo, a altura da torre deverá ser a seguinte:

$$L = 3 * \left(\frac{4147,34}{1000}\right) + 0,10 * \left(\frac{4147,34}{1000}\right)^3 + 1,98 * (5574,34)^{0,33} = 53,69 \text{ m}$$

Custo com a torre de extração (**Cte**) será calculada pela fórmula

$$Cte = Findex * \left[1,45 * Dpe^{1,4} * Pt^{0,2} + 11,1 * \left(\frac{Dpe}{10} \right)^{1,8} + 11,2 * \left(\frac{Dpe}{100} \right)^{3,2} + 1,32 * L^{1,8} * \left(\frac{Dpe}{100} \right)^{1,2} \right]; \text{USD} \quad (25)$$

Logo, custo com a torre de extração deverá ser a seguinte:

$$Cte = 1 \text{ USD} * \left[1,45 * (4147,34)^{1,4} * (3254271,18)^{0,2} + 11,1 * \left(\frac{4147,34}{10} \right)^{1,8} + 11,2 * \left(\frac{4147,34}{100} \right)^{3,2} + 1,32 * (53,69)^{1,8} * \left(\frac{4147,34}{10} \right)^{1,2} \right]$$

$$Cte = 8008697,57 \text{ USD}$$

d) Custos com equipamentos de mineração básicos

Custo com equipamentos de mineração básicos (**Ceq**) será calculada pela fórmula

$$Ceq = Findex * (45040 * P^{0,6}); \text{ (USD)} \quad (26)$$

Logo, custo com equipamentos de mineração básicos deverá ser a seguinte:

$$Ceq = 1 \text{ USD} * (45040 * (5574,23)^{0,6}) = 7967265,92 \text{ USD}$$

e) Custos com instalações de manutenção básicos

Custo com instalações de manutenção básicos (**Cim**) será calculada pela fórmula

$$Cim = Findex * (21800 * P^{0,5}); \text{ (USD)} \quad (27)$$

Logo, custo com instalações de manutenção básicos deverá ser a seguinte:

$$Cim = 1 \text{ USD} * (21800 * (5574,23)^{0,5}) = 1627604,70 \text{ USD}$$

Custo total da mina subterrânea (CTs) será calculada pela fórmula

$$CTs = Cop + Cpp + Ccp + Cte + Ceq + Cim; \text{ (USD)} \quad (28)$$

Logo, O custo total da mina subterrânea deverá ser a seguinte:

$$CTs = 1827763099 \text{ USD} + 7676889,28 \text{ USD} + 1117937,29 \text{ USD} + 8008697,57 \text{ USD} + 7967265,92 \text{ USD} + 1627604,70 \text{ USD} = 1854161494 \text{ USD}$$

Usando a fórmula (12) teremos o seguinte Lucro da mina subterrânea (**Lucro S**):

$$\text{Lucro S} = 3029580911 \text{ USD} - 1854161494 \text{ USD}$$

$$\boxed{\text{Lucro S} = 1175419417 \text{ USD}}$$

CAPÍTULO VII: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Resultados dos parâmetros e Índices Económico

Nesse capítulo, será apresentada análise de sensibilidade dos custos e consequentemente lucros da mina céu aberto e da mina subterrânea. Essa análise, ajudará na tomada de decisão do ponto de vista técnico e económico relativamente aos custos que acarretam a profundidade de 600 metros bloco **BI. 9-C₂**, de tal modo que se opte melhor critério de exploração e assim minimize os custos.

Tabela 16: Resumo de alguns parâmetros

Parâmetros	Índice técnico e económico	Unidade
1-Receita bruta	3029580911	USD
Custos		
2-Custo total da mina céu aberto	2013862791	USD
3-Custo total da mina subterrânea	1854161494	USD
4-Custo por toneladas, mina céu aberto	61,82	USD/t
5-Custo por toneladas, mina subterrânea	56,92	USD/t
Lucros		
6-Lucro da continuidade da mina céu aberto	1015718120	USD
7-Lucro da mina subterrânea	1175419417	USD

Fonte: O autor

A definição na escolha entre a mina a céu aberto ou subterrânea baseia-se, sobretudo no critério técnico e econômico. A forma como vai ser explorada essa reserva, deve ser aquela que apresenta o menor custo, considerando todos outros aspectos operacionais e investimento como mostram os gráficos.

O cálculo dos custos da mina a céu aberto e subterrânea foram efetuados baseando-se na tecnologia em uso actualmente de trabalhos de extração e de abertura. E nos parâmetros técnicos e económicos atingidos na recuperação do minério de interesse económico até 2019.

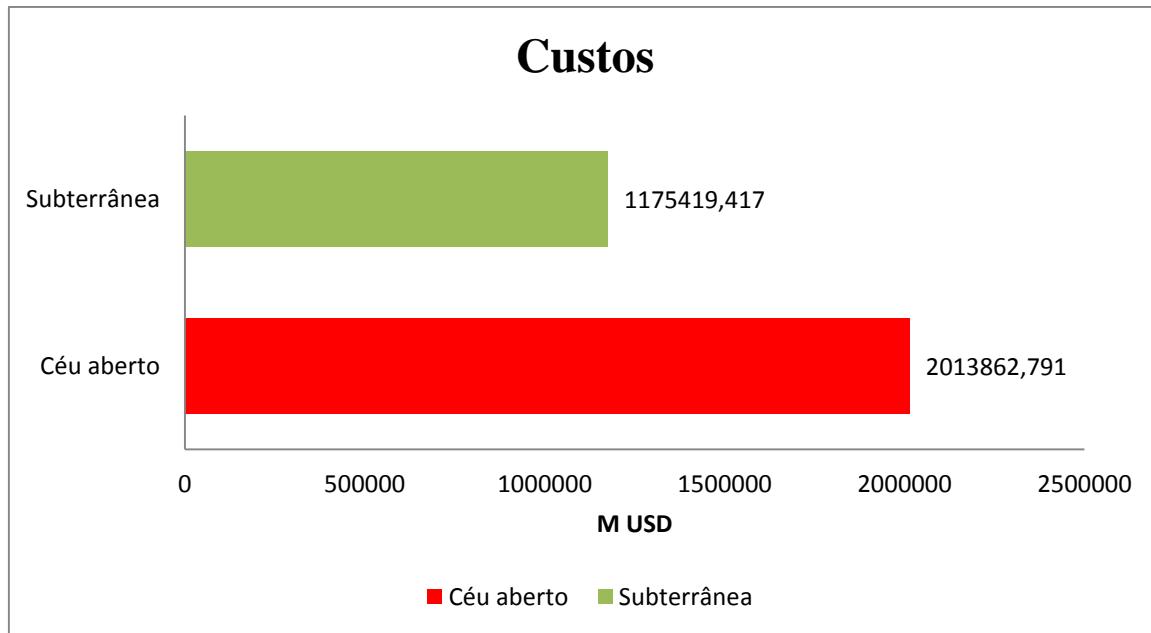


Gráfico 4: Custos da mina céu aberto e mina subterrânea

Os lucros terão um aumento significativo ou diminuição dependendo do preço unitário do quilate do diamante no mercado, sendo ela a variável mais instável no cálculo da receita bruta, a mesma variável dependerá do mercado. Para o nosso cálculo usamos uma média anual que foi vendida no mercado nos últimos três anos 2017 a 2019, segundo a **Catoca** e **Angop**.

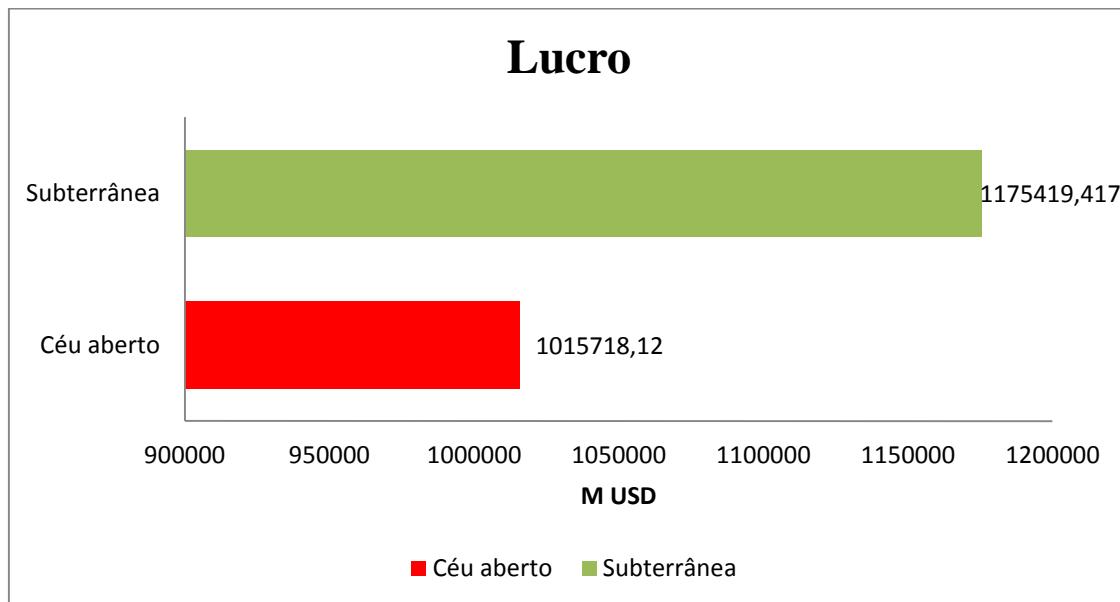


Gráfico 5: Lucro da mina céu aberto e a mina subterrânea

CAPÍTULO VIII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 Conclusões

Para transição de uma mina requer um conjunto de preceitos ou normas muito complexas, que se a decisão for tomada, sem cumprir esses preceito estariamos a colocar grandes montante de capitais em risco, inviabilizando a exploração, e o mais importante colocar em risco o capital humano.

Tendo-se determinado a reserva e os principais parâmetros técnicos e económicos isto é custos e lucros da mina céu aberto e subterrânea do bloco em estudo, chegou-se as seguintes conclusões sistemáticas e sucintas:

- ✓ Quando atingimos uma profundidade bastante elevada, a tendência é que a exploração a céu aberto não seja mais viável, uma vez que o depósito apresenta uma profundidade elevada. Baseando-se nos relatório da chaminé kimberlítica de Catoca, a mina é viável explorar a céu aberto até a profundidade 600 metro, necessitando de uma análise da possível continuidade ou transição a partir de 600 metros de profundidade.
- ✓ Os gráficos apresentam os principais índices técnicos e económicos para uma análise comparativa entre a exploração da mina céu aberto e da subterrânea. Nela podemos observar uma comparação de custos e lucros, facto este que leva-nos a afirmar que apartir da profundidade 600 metros, apresenta maior rentabilidade económica a mina subterrânea.

Portanto, este facto leva a sugerir uma transição para mina subterrânea como melhor opção, para evitar grandes custos e ter maiores lucros. Ainda assim, requer um estudo mais aprofundado, pois que análise de custo de investimento da mina subterrânea foram feita com base em estimação de custos. Assim como qualquer processo de previsão, ajuda que o analista quantifique eventos futuros ou seja requer que o analista seja criativo. Na mineração, grande parte das estimativas que devem ser feitas no projecto são valores mensuráveis.

8.2 Recomendações

Depois dos resultados e conclusão obtida com análise feito da reserva e lucro do bloco, recomenda-se:

- ✓ Que o departamento de geologia quantifica e qualifica resvra da profundidade 600 à 800 m, segundo os estudos feito por nós é técnico e económicamente viável explorar o bloco **BI. 9-C₂**.
- ✓ Os custos de mineração são parâmetros de difícil estimação pelo que uma atenção especial que deve ser dada para a sua aplicação. Os métodos de previsão de custos de mineração são bastante diversificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DANIEL PACHECO LACERDA (UNISINOS)- Algumas Caracterizações dos Métodos Científicos em Engenharia de Produção: Uma análise de periódicos nacionais e internacionais 2007.
- [2] CATOCA, SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA (2001). Relatório sobre os resultados da prospecção geológica detalhada da chaminé kimberlítica de Catoca, realizada entre 1995 – 2001 com avaliação das reservas de diamantes até a profundidade de 600 m (à data de 01/10/2001). Volume 1.
- [3] CATOCA, SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA (2011). Livro (Documentação de Projecto Catoca 1/01/2011) Volume 1.1.
- [4] MILTON BRIGOLINI NEME I; ADILSON CURI II; JOSÉ MARGARIDA DA SILVA III; AIDA CAROLINA BORGES CARNEIRO IV- Realização de Projeto de Lavra de Mina Subterrânea com Utilização de Aplicativos Específicos. Aprovado em 28 de julho de 2011.
- [5] CUSTÓDIO CARLOS JÚLIO LEMOS - Optimização de Exploração de Diamantes em Kimberlitos (Exemplo de Catoca) 2009.
- [6] CARLA DE CARLI- Análise de Projectos Limite: Lavra a Céu Aberto x Lavra Subterrânea 2013.
- [7] CARLOS DINIZ GAMA-Mineração Subterrânea Características e Desafios 2008.
- [8] THIAGO CAMPOS BORGES - Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração 2013.
- [9] RAFAEL FREITAS D'ARRIGO - Modelo de Estimativa de Custos Operacionais e de Capital e, Projectos de Mineração em Fase Conceitual Baseado no Modelo de O'Hora. Setembro de 2012.
- [10] EVANDRO MIGUEL AZEVEDO RIBEIRO - Estudo Comparativo de Viabilidade Técnico-Económica na Indústria Mineira (Estudo de Caso Portugal e Estados Unidos da América) 2019.

ANEXOS

Volumes generalizados dos trabalhos de mineração por etapas

Índice		I Etapa	II Etapa	III Etapa	Ao todo
1-Minério	Bloco 1-B	4728,2			4728,2
	Bloco 2-B	16275,3	9181,2		25456,8
	Bloco 3-B	31831,9	1194,5		33026,1
	Bloco 4-B	8567,8	21361,3	198,4	30127,5
	Bloco 5-C ₁	1323,5			1323,5
	Bloco 6-C1	8058,9	10415,1	700,9	19174,9
	Bloco 7-C1	1775,4	41811,1	13090,7	56677,2
	Bloco 8-C1		6609,7	30182,7	36792,4
mil t	Total	72561	90572,9	44172,7	207306,3
mil m³	Total	33438,2	41738,7	20356,1	95532,8
2-Estéreis Mil m³	REA	13737,4	7529,9		21267,3
	Demais	49899,8	62363,6	25856,6	138120
	Total	63637,2	69893,5	25856,6	159387,3
3-Massa mineira, mil m³		97075,4	111632,2	46212,7	254920,3
4-Coef. De estéreis, m³/t		0,88	0,77	0,59	0,77

Fonte: Catoca

Reservas de minério em bloco geológicos, levando em conta dados da prospecção detalhada de andares profundos (01.01.2011).

Número de blocos e categoria de reservas	Reservas de minério em um bloco mil toneladas	Massa volumétrica de minério t/m ³	Volume da massa mineira em um bloco m ³
Bloco 1-B	4649,9	2,033	2287,2
Bloco 2-B	25026,8	2,025	12358,9
Bloco 3-B	32186,1	2,082	15459,3
Bloco 4-B	29534,7	2,077	14219,7
Bloco 5-C ₁	1304,7	2,071	630,0
Bloco 6-C1	18241,6	2,116	8620,8
Bloco 7-C1	56185,6	2,240	25087,5
Bloco 8-C1	43302,5	2,383	18171,5
Total	210431,4	2,173	96834,9

Fonte: Catoca





Fonte: O autor