



MATHEUS NONATO DE CASTRO

**ANÁLISE DO PLANO DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO PARA MINERAIS  
PESADOS NO EXTREMO SUL DA BAHIA.**

OURO PRETO  
2023

MATHEUS NONATO DE CASTRO

ANÁLISE DO PLANO DE APROVEITAMENTO ECONÔMICO PARA MINERAIS  
PESADOS NO EXTREMO SUL DA BAHIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

OURO PRETO

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C355a Castro, Matheus Nonato de.

Análise do plano de aproveitamento econômico para minerais pesados no extremo sul da Bahia. [manuscrito] / Matheus Nonato de Castro. - 2023.

29 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Engenharia de minas. 2. Lavra de minas - Plano de Aproveitamento Econômico. 3. Beneficiamento de minério. 4. Desativação de minas. 5. Minerais Pesados. I. Lima, Hernani Mota de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.01

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza- SIAPE: 1.763.787



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Matheus Nonato de Castro**

### **Análise do plano de aproveitamento econômico para minerais pesados no extremo sul da Bahia**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Mina da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia de Minas

Aprovada em 05 de abril de 2023

#### Membros da banca

Ph.D. Hernani Mota de Lima - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. José Fernando Miranda - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Allan Erlichman Medeiros Santos - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Hernani Mota de Lima, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 12/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Hernani Mota de Lima, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/04/2023, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0507982** e o código CRC **BE2632D9**.

## AGRADECIMENTOS

Às minhas mães Márcia e Mêrces; ao meu irmão Thiago e a minha namorada Bethânia, pelo apoio e incentivo.

Ao Professor Dr. Hernani Mota Lima pela orientação, bem como pela paciência e disponibilidade para a execução deste.

Aos demais professores do DEMIN que contribuíram para a minha formação.

À Escola de Minas da UFOP pela oportunidade do aprendizado nessa instituição de renome.

## RESUMO

O Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) é um documento importante e obrigatório para a lavra de jazidas minerais e, de acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), compõe o Requerimento de Lavra, com obrigatoriedade estabelecida no Art. 38 do Código de Mineração. O PAE é um relatório técnico que traz as informações das etapas de extração, beneficiamento, comercialização, fechamento da mina, e por fim, a viabilidade econômica do projeto. Dessa forma, é elaborado por Engenheiro de Minas, legalmente habilitado pelo CREA, que detém os conhecimentos necessários para sua elaboração. Este estudo analisa um PAE para minerais pesados (monazita, zirconita, rutilo, ilmenita e cianita), de uma empresa localizada no extremo-sul da Bahia, e propõem um método alternativo de lavra, beneficiamento e fechamento de mina.

**Palavras-chaves:** Plano de Aproveitamento Econômico; Minerais Pesados; Lavra; Beneficiamento, Fechamento de Mina.

## ABSTRACT

The Economic Use Plan (PAE) is an important and mandatory document for the mining of mineral deposits and, according to the National Mining Agency (ANM), composes the Mining Request, with the obligation established in art. 38 of the Mining Code. The PAE is a technical report that provides information on the stages of therapy, benefit, prescription, mine closure, and finally, the economic viability of the project. In this way, it is prepared by a Mining Engineer, legally qualified by CREA, which protects the necessary knowledge for its elaboration. This study analyzes a PAE for heavy minerals (monazite, zirconite, rutile, ilmenite and kyanite), from a company located in the extreme south of Bahia, and proposes an alternative method of mining, beneficiation and mine closure.

**Keywords:** Economic Exploitation Plan, heavy minerals, Mining, Beneficiation, Mine Closure.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais aplicações dos elementos terras raras contidos na monazita	13
Figura 2- Mapa evidênciano a Região Sul do Estado da Bahia onde é mostrada a localização do município de Caravelas.....	18
Figura 3 - Vista espacial da área subdividida em três blocos.....	19
Figura 4 - Mapa Espectrométrico dos alvaras da pesquisa.....	20
Figura 5 - Fluxograma da separação dos minerais pesados.....	23



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - O recurso total medido em toneladas.....	21
Tabela 2 - Percentual e quantidade em toneladas a ser produzida mensalmente de cada Minério.....	22
Tabela 3- Recursos medido (em toneladas) e tempo de exploração prevista.....	24
Tabela 4 - Resultado do exercício financeiro mensal e anual do Projeto .....	25

## **LISTA DE SIGLAS**

ANM - Agência Nacional de Mineração

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

PAE - Plano de Aproveitamento Econômico

PARNA - Parque Nacional

RESEX - Reserva Extrativista

ROM - Run of Mine

SIGMINE - Sistema de Informações Geográficas da Mineração

THM - Total Heavy Minerals

VHM - Valuable Heavy Minerals

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	Objetivo .....	13
1.1.1	Objetivos Especificos.....	13
1.1.2	Materiais e Métodos .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	O Plano de Proveitamento Econômico .....	14
2.2	Minerais Pesados .....	16
2.3	Metódos de Lavra Minerais Pesados.....	16
2.4	Processos e Tratamento de Minerais Pesados.....	17
2.5	Plano de Recuperação de Area e Fechamento de Mina.....	17
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>18</b>
3.1	Contexto Geológico.....	18
3.2	Lavra e Transporte.....	21
3.3	Beneficiamento.....	22
3.4	Plano de Recuperação de Areas e Fechamento de Mina.....	23
<b>4</b>	<b>DIRCURSSÃO E RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
4.1	Viabilidade Econômica.....	24
4.2	Metodo de Lavra.....	27
	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>28</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Plano de Aproveitamento Econômico é um documento onde constam informações sobre o processo de extração da jazida, seu beneficiamento e a comercialização dos minérios retirados dela, tendo sua obrigatoriedade prevista no Art. 38 do Código de Mineração.

Segundo (Paione, 1999 apud Almeida, 2017), encontram-se no código de mineração brasileiro os direitos sobre jazidas minerais e minas, o regime de aproveitamento e a intervenção do estado na indústria minerária.

De acordo com (SOUZA, 2010):

Os minerais pesados, também chamados de resistatos (resistentes) são aqueles que suportam a abrasão imposta pelo transporte, após a desagregação da rocha-mãe (da qual faziam parte de sua composição), através de agentes intempéricos (água, vento, gelo) e ainda resistem às condições de decomposição química proporcionadas pelo meioambiente.

Os minerais pesados objeto desse estudo são: monazita, rutilo, ilmenita, zirconita e cianita. A monazita, sendo portadoras de elementos terras raras, possui diversas aplicações industriais, como componentes para televisores, automóveis, celulares e entre outros (Figura 1). Da ilmenita e do rutilo são retirados o titânio — importante componente para ligas metálicas. A zirconita tem sua maior aplicabilidade na indústria de cerâmica e como refratário, e a cianita na indústria de mulita, atuando como refratário.

**Figura 1- Principais aplicações dos elementos terras raras contidos na monazita**



Fonte: site: revista Veja, em (06/04/2012).

Para a confecção deste, os estudos foram baseados no Plano de Aproveitamento Econômico para Minerais Pesados, da empresa X, que tem a área de interesse localizada no extremo-sul do Estado da Bahia, no município de Caravelas.

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Engenharia de Minas é estudo de caso de um Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) para Minerais Pesados, da empresa localizada no Extremo-Sul do Estado Bahia, a fim de se analisar a viabilidade econômica do projeto.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

Realizar uma análise da viabilidade econômica do projeto, bem como as operações de lavra e beneficiamento do minério, e o fechamento de mina.

### 1.1.2 Materiais e Métodos

O estudo deste TCC compreendeu seis etapas que buscam a análise do projeto, desde os dados do mapeamento geológico, até à sua viabilidade econômica. A primeira etapa consistiu em uma pesquisa bibliográfica referente aos aspectos relacionados à elaboração de um PAE e a aplicabilidade dos minerais pesado.

Na segunda etapa foi realizada a análise do contexto geológico, bem como as características do depósito.

A terceira parte buscou realizar uma análise à proposição do método de lavra e o posterior transporte, até a usina de beneficiamento

Na quarta parte, foi proposta uma possível rota de tratamento, visando a obtenção de forma separada de cada de minério.

De maneira sistêmica, na quinta parte foi proposto um fechamento de mina que atenda aos princípios de sustentabilidade ambiental, preconizados pelos regulamentos pertinentes.

Por fim, na sexta parte realizou-se a análise da viabilidade econômica do projeto como todo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Plano de Aproveitamento Econômico

Sendo documento fundamental para todo empreendimento minerário, um PAE bem elaborado pode ser decisivo para abertura ou não de mina.

Para Feigelson (2012):

O PAE é um dos elementos obrigatórios do requerimento de concessão de lavra, tratando-se de relatório elaborado sob a responsabilidade de um engenheiro de minas, cujo conteúdo é o estudo técnico do aproveitamento, de uma jazida mineral e a análise econômica da viabilidade de um empreendimento.¶

De acordo com Artigo 39 do Decreto Lei nº 227 de 28 de Fevereiro de 1967 referentes à Mineração, são evidenciados pontos que devem estar contidos no PAE:

Memorial explicativo;  
 Projetos ou anteprojetos referentes:  
 Ao método de mineração a ser adotado, fazendo referência à  
 escala de produção;  
 Prevista inicialmente e à sua projeção;  
 À iluminação, ventilação, transporte, sinalização e segurança do  
 trabalho, quando se tratar de lavra subterrânea;  
 Ao transporte na superfície e ao beneficiamento e aglomeração do  
 minério; Estudo de Viabilidade Econômica;  
 Dados da mão de obra a ser empregada;  
 Plano de controle dos impactos  
 ambientais na mineração; Cronograma dos  
 trabalhos;  
 Plano de resgate e  
 salvamento; Plano de  
 Emergência;  
 Fechamento de Mina;  
 Plano de Controle médico e saúde ocupacional.

Segundo (Curi, 2014 apud Furtado, 2016), —O plano de Lavra deve se basear em estudos confiáveis, que garantam sua implantação com a precisão adequada.

Conforme orientação de Curi (2014), os estudos de viabilidade de empreendimentos de lavra de mina devem conter, pelo menos, os seguintes itens:

- Introdução, resumo e objetivos do estudo;
- Localização, planta de situação, clima, topografia, história local,
- Propriedade e condições de transporte;
- Considerações ambientais: condições atuais, padrões, medidas de proteção, recuperação de áreas, estudos especiais;
- Considerações geológicas: origem, estrutura, morfologia dos depósitos;
- Avaliação das reservas minerais, compreendendo procedimentos de avaliação, cálculo de tonelagem e teor;
- Metodologia proposta para o desenvolvimento e planejamento da lavra;
- Localização das instalações de superfície;
- Discriminação das operações auxiliares: energia, suprimento de água, acessos, área de disposição de estéril, barragem de rejeitos;
- Quadro de pessoal requerido;
- Previsão da comercialização do produto: oferta, demanda, preço, contratos de fornecimento;
- Previsão de custos direto, indireto e total de desenvolvimento, lavra,

- Beneficiamento e transporte;
- Projeção do lucro: determinação da margem de lucro, por faixas de teorese preços.

## 2.2 Minerais Pesados

Um dos fatores que impulsionaram a busca dos minerais pesados nas últimas décadas foi a sua crescente utilização na indústria tecnológica, bem como para estudos com os propósitos para fontes de energia renováveis.

Os elementos químicos hospedados nos minerais pesados, são considerados minerais críticos para a tecnologia, principalmente para energia futura; como eles são usados em, por exemplo, painéis fotovoltaicos, baterias e turbinas eólicas (Caritat *et al.*, 2022).

De acordo com Cleverson (2000):

Os principais pláceres marinhos situam-se nas praias atuais, ou foram formados em decorrência dos eventos de oscilação do nível do mar que caracterizaram o período Quaternário, ora expondo grandes áreas da plataforma continental, ora afogando porções das planícies costeiras. Em razão destes eventos, os depósitos aluviais e coluviais, que contém importantes concentrações de minerais pesados, são afogados e permanecem preservados na plataforma continental, onde são retrabalhados pelas correntes costeiras e ondas, promovendo a reconcentração dos minerais mais densos.

## 2.3 Métodos de Lavra de Minerais Pesados

Conforme Cleverson (2000), a exploração de minerais pesados pode ser feita por dragagem, que pode ser hidráulica ou mecânica.

Ainda de acordo com o autor:

A exploração dos pláceres de praias é normalmente feita por pás-carregadeiras, ou através de sucção hidráulica. Neste último caso os sedimentos superficiais são removidos até que seja atingido o lençol freático, criando-se um grande lago onde é instalada uma unidade de dragagem. O material dragado é despejado diretamente nos concentradores por gravidade (espirais de Humphreys) que fazem a



pré- concentração do material antes de ser encaminhado para a usina para posterior reconcentração e processamento. (Cleverson, 2000).

## 2.4 Processos de Tratamento de Minerais Pesados

Devido à presença de determinados elementos, assim como suas características químicas, a rota de tratamento dos minerais pesados pode ser considerada simples, com baixo custo de implementação.

Minerais pesados ocorrem naturalmente em concentrações relativamente pequenas, de modo que sistemas de preparação especializados equipados com separadores em espiral, separadores eletrostáticos e separadores magnéticos são necessários para concentração e separação (Sabine et al., 2021).

## 2.5 Plano de Recuperação de Áreas e Fechamento de Mina

Atualmente, o grande desafio da mineração, é a de conciliar as operações, principalmente a de lavra, com minimização dos impactos e recuperação ambiental das áreas impactadas pela atividade. A supressão da vegetação das áreas diretamente impactadas pela mineração ameaça a estrutura das espécies vegetais e animais com impactos na biodiversidade (Cortez-Lugo *et al.*, 2018; Fugiel *et al.*, 2017).

O entendimento do plano concluído pode diferenciar de acordo com cada autor. Segundo Mudder e Harvey:

Ponto do tempo ao qual as revegetações tenham sido completadas, soluções químicas nocivas foram eliminadas; um grau máximo de gerenciamento tenha sido implementado e um programa de monitoramento da superfície final ou de água subterrânea tenham sido iniciados (MUDDER e HARVEY, 1998, apud OLIVEIRA JÚNIOR, 2006).

Revisitando as bibliografias referentes ao método da lavra e às características biológicas da região, uma técnica proposta por Cleverson (2000), se mostra viável do ponto de vista econômico e principalmente, respeitando as características locais.

Uma técnica comum de recomposição ambiental nestas áreas é a raspagem e estocagem do solo, que após a retirada do bem mineral e devolução do rejeito, retorna ao local de extração, onde então se promove o replantio das espécies originais, ou a recomposição de pastagens. (CLEVERSON, 2000).

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Contexto Geológico

O município de Caravelas está localizado no extremo-sul do Estado da Bahia, pertencendo a importante região litorânea da costa-brasileira, destacando-se pelo turismo (Figura 2).

**Figura 2- Mapa evidenciano a Região Sul do Estado da Bahia onde é mostrada a localização do município de Caravelas**



Fonte: Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), elaborado pelo corpo técnico da empresa G-4 Esmeralda Ltda em 2019.

É importante fazer uma rápida descrição dos ambientes onde são formados os minerais pesados, antes de introduzir os tipos de rochas fontes da ilmenita, rutilo, zirconita, monazita e cianita.

A monazita pode ser encontrada em variadas rochas e/ou depósitos minerais. É encontrada associada à magmatismo ácido (granitos, granodioritos, monzonitos), em forma cristais idiomórficos em pegmatitos graníticos, em carbonatitos, nos veios hidrotermais, nas formações pneumatolítica e em rochas migmatíticas. Também

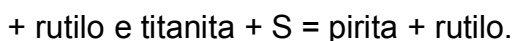
pode ser concentrada como mineral pesado em ambientes secundários, como os pláceres, por causa de suas propriedades físicas.

O zircão se forma, de forma exclusiva, a partir da cristalização magmática, em rochas como o granito, dioritos, sienitos e nos pegmatitos.

O rutilo, em quase todas as fácies metamórficas, pode ser encontrado como um mineral típico de alta pressão e temperatura. É encontrado em rochas metamórficas ricas em alumínio, sendo um mineral característico das fácies granulito e eclogito. Ele pode se formar nas reações metamórficas da titanita



plagioclásio + rutilo, titanita +  $\text{CO}_2$  = calcita + sílica + rutilo, titanita +  $\text{O}_2$  = magnetita



A ilmenita, em quase todos os tipos de rochas magmáticas, pode ser encontrada como mineral acessório. Pode ser encontrada, também, nas fácies metamórficas.

A cianita está associada às rochas aluminosas de origem metamórfica e/ou à zona de falhas.

Com base na formação dos minerais pesados, é plausível afirmar que a rocha-fonte pode estar incluída nos metamorfitos e intrusões ígneas encontradas no Estado de Minas Gerais e/ou próximo à costa, em todo litoral sul da Bahia. A figura 3 destaca as poligonais da área com os respectivos números dos processos minerários, retiradas do SIGMINE da ANM.

**Figura 3 - Vista espacial da área subdividida em três blocos**



Fonte: Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), elaborado pelo corpo técnico da empresa G-4 Esmeralda Ltda em 2019.

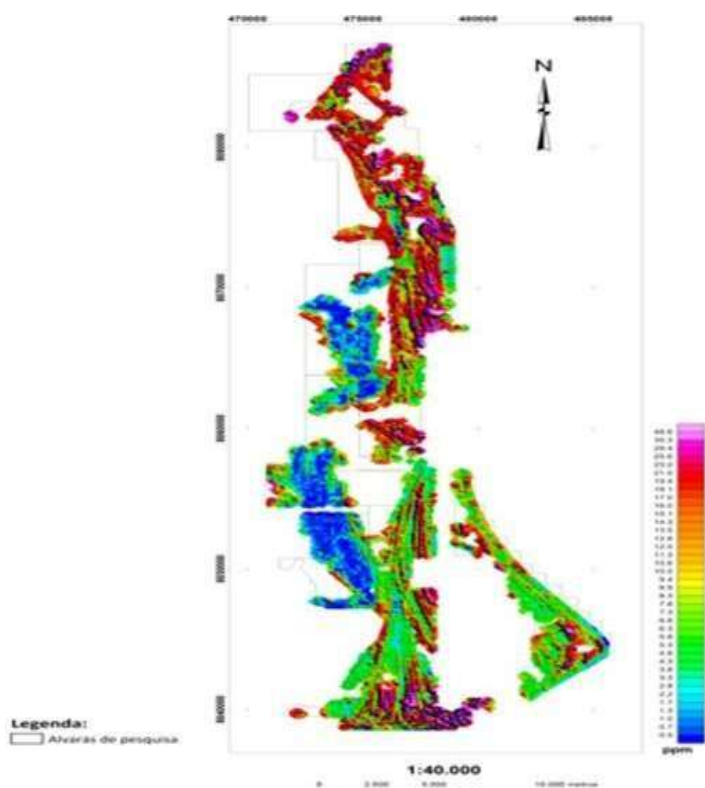
Com base na Figura 3, observa-se que as acumulações de minerais pesados são encontradas somente nos fronts de ondas Holocênicas, e que são constituídas nas acumulações de minerais pesados (ilmenita, rutilo, zirconita, monazita e cianita), do tipo pláceres.

O bloco sul, como foi denominado a área, foi subdividida em três áreas, sendo cada subdivisão chamada por seu respectivo processo na ANM.

Os trabalhos de pesquisa foram iniciados com o mapeamento geológico, seguido da elaboração das linhas espectrométricas, onde foram feitas as medidas geofísicas, utilizando-se de espectrometria e obtenção das cartas de isovalores espectrométricas. De posse dos dados pelo mapeamento, começaram as perfurações de sondagens a trado mecanizado e a obtenção dos teores, em porcentagem, de minerais pesados (%THM) (total heavy minerals) e da %VHM (valuable heavy minerals). Em algumas amostras também foram determinadas as análises químicas da ilmenita, rutilo, zirconita, monazita e cianita.

A partir do mapeamento geofísico (Figura 4), são verificados os fronts arenosos holocênicos com anomalia positiva.

**Figura 4 - Mapa Espectrométrico dos alvaras da pesquisa**



Fonte: Fonte: Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), elaborado pelo corpo técnico da empresa G-4 Esmeralda Ltda em 2019.

Esses resultados confirmaram a presença de minerais pesados nesses fronts arenosos, em uma extensão de aproximadamente 8 km. Após a cubagem dos três sub-blocos que a área foi dividida, chegou a um total de 2.605.593,61 toneladas de minério, conforme mostrado na tabela 1.

**Tabela 1 - O recurso total medido em toneladas**

	870.873/2011		870.874/2011		870.876/2011	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Ilmenita	237.788,64	48,11	238.238,36	48,11	1.093.803,74	67,68
Rutilo	56.049,99	11,34	56.156,23	11,34	44.711,67	02,77
Zirconita	50.954,67	10,31	51.051,25	10,31	326.701,77	20,21
Monazita	11.888,91	02,41	11.911,45	02,41	26.794,71	01,66
Cianita	137.577,07	27,83	137.837,84	27,83	124.127,31	07,68
Subtotal	494.259,28		495.195,13		1.616.139,20	
Total	2.605.593,61					

Fonte: Próprio Autor (2023)

### 3.2 Lavra e Transporte

Os sedimentos arenosos holocênicos portadores de minerais pesados (ilmenita, rutilo, zirconita, monazita e cianita) formam um relevo plano, com uma altitude de até 10 m, em um local muito favorável para a criação de um lago, onde poderá ficar a retroescavadeira e/ou a balsa de sucção, para a lavra do minério.

Um ponto que deve ser muito discutido em qualquer projeto de mineração é o método de lavra. A acumulação de minerais pesados está em uma região sensível do ponto de vista ambiental, sendo de fundamental importância obedecer ao

proposto pelos órgãos responsáveis, principalmente quando houver interferência em região de beira de praia, em parque nacional (PARNA) ou em reserva extrativista (RESEX).

### 3.3 Beneficiamento

Todo o ROM (Run of Mine) será levado para uma unidade de concentração a úmido, a qual será montada, e seguirá junto com a balsa. Inicialmente, o minério granulometricamente definido, será peneirado e o seu teor aumentará de forma significativa. A segunda etapa da concentração a úmido será feita em um sistema demesa e/ou espiral concentradora. Depois das etapas de retirada do minério e da sua concentração inicial a úmido, os minerais pesados serão transportados para a usina de separação a seco, onde serão aquecidos e separados, primeiramente, por um separador magnético, finalizando com a utilização de separador eletrostático. Após essas etapas, a ilmenita, o rutilo, a zirconita, a monazita e a cianita serão separados individualmente. De acordo com a revista Industrial Minerals, os valores de mercado da época estavam em torno de US\$250,00/t para ilmenita e cianita, US\$800,00/t para o rutilo e US\$2,000,00/t para zirconita e monazita. O custo final estimado para as etapas de concentração e separação estão em torno de US\$100,00/t.

Uma estimativa de produção esperada, em função dos teores de minerais pesados no concentrado, é apresentada na tabela 2.

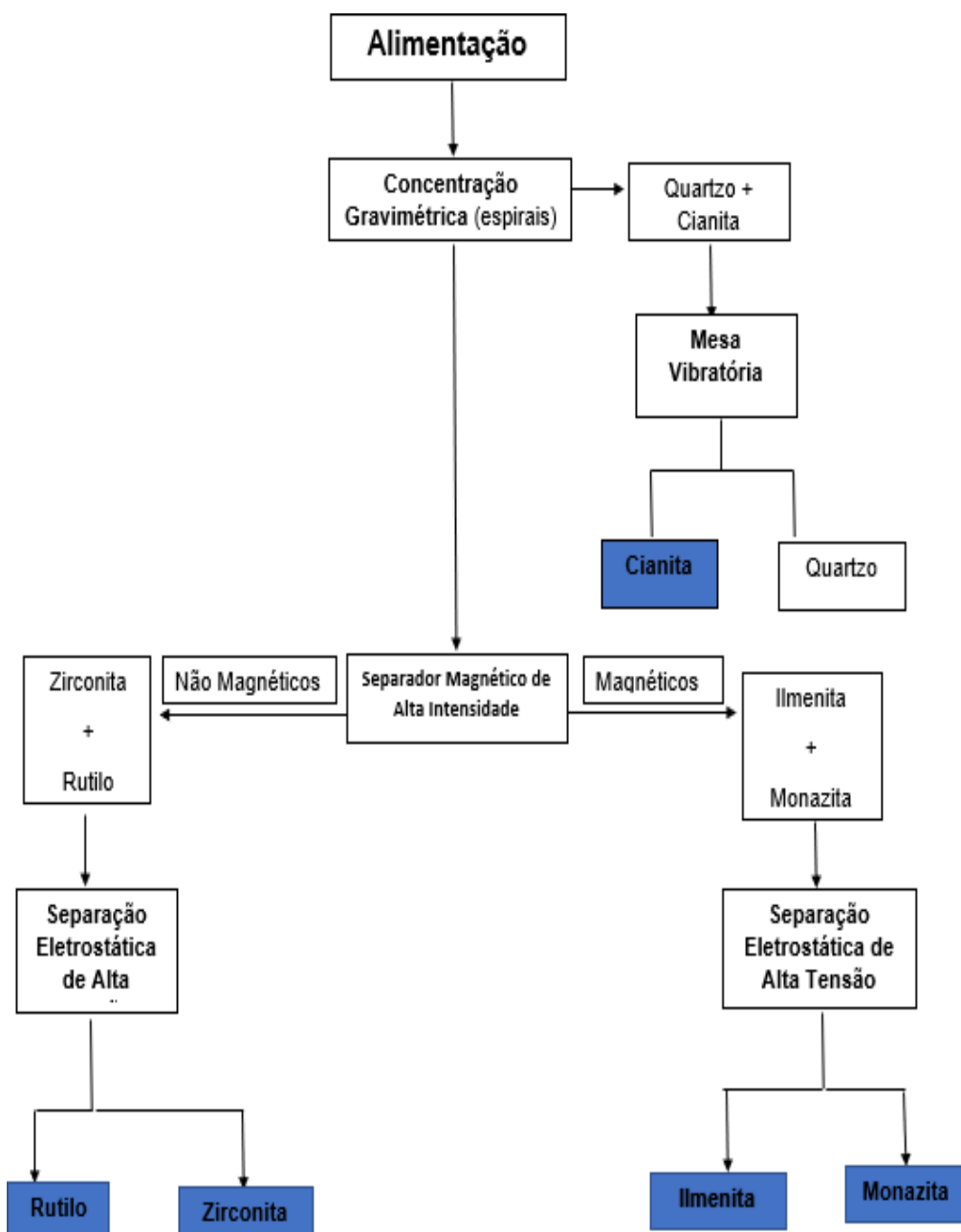
**Tabela 2 - Percentual e quantidade em toneladas a ser produzida mensalmente de cada Minério**

Ilmenita	60,25%	1.205,00 t/mês
Rutilo	06,02%	120,40 t/mês
Zirconita	16,45%	329,00 t/mês
Monazita	01,94%	38,80 t/mês
Cianita	15,34%	306,80 t/mês

Fonte: Próprio Autor (2023)

O fluxograma da figura 5 mostra uma possível proposta de separação e obtenção de cada minério.

Figura 5 - Fluxograma da separação dos minerais pesados



FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2023)

### 3.4 Plano de recuperação de áreas e fechamento de mina

O plano de fechamento de mina é uma etapa fundamental para que uma mina possa receber um alvará de lavra.

Para a que o fechamento de mina seja concluído, órgãos fiscalizadores precisam emitir um certificado, alegando assim que todas as diretrizes estabelecidas na concepção do projeto tenham sido alcançadas.

De acordo com Cleverson (2000), o replantio das áreas, após a devolução do rejeito ao local de origem, poderia ser uma prática a ser adotada, bem como o seu monitoramento, a fim de se certificar da eficácia do método.

## 4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

### 4.1 Viabilidade Econômica

Na concepção do projeto, após a cubagem total do minério, foi indicado um valor total de recurso medido de 2.605.593,61 t. Com uma proposta inicial de uma escala de produção de 2.000t/mês, chegou-se em uma vida útil de aproximadamente 108 anos.

**Tabela 3- Recursos medido (em toneladas) e tempo de exploração prevista**

	870.873/2011	870.874/2011	870.876/2011	Cada minério
Ilmenita	237.788,64	238.238,36	1.093.803,74	1.569.830,74
Rutilo	56.049,99	56.156,23	44.711,67	156.917,89
Zirconita	50.954,67	51.051,25	326.701,77	428.707,69
Monazita	11.888,91	11.911,45	26.794,71	50.595,07
Cianita	137.577,07	137.837,84	124.127,31	399.542,22
Subtotal	494.259,28	495.195,13	1.616.139,20	
<b>Total</b>	<b>2.605.593,61</b>			
<b>Tempo de exploração</b>	<b>108,57 anos</b>			

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2023)

Considerando um custo final de produção de R\$384,00/t, para uma produção de 2.000 t/mês de minerais pesados, chega-se a um custo total mensal de



R\$768.000,00.

Com valores de dólar igual a R\$3,84 (cotação de 01/07/2019, os preços à época estavam:

Ilmenita: US\$150.00/t Rutilo: US\$800.00/t Zirconita: US\$2,000.00/t

Monazita: US\$1,500.00

/tCianita: US\$300.00/t

De posse da cotação dos minerais à época, foi possível estimar o faturamento bruto mensal e anual em reais.

**Tabela 4 - Resultado do exercício financeiro mensal e anual do Projeto**

Produto	Volume produzido (toneladas)	Preço de venda (R\$/tonelada)	Faturamento bruto mensal (R\$)	Faturamento bruto anual (R\$)
Concentrado (acima de 98%)	2000	768,00	1.536.000,00	18.432.000,00
Ilmenita	1.205,00	576,00	694.080,00	8.328.960,00
Rutilo	120,40	3.072,00	369.868,80	4.438.425,60
Zirconita	329,00	7.680,00	2.526.720,00	30.320.640,00
Monazita	38,80	5.760,00	223.488,00	2.681.856,00
Cianita	306,80	1.152,00	353.433,60	4.241.203,20
<b>Total</b>			<b>4.167.590,40</b>	<b>50.011.084,80</b>

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2023)

O recolhimento dos impostos relativo ao faturamento total [PIS / COFINS(1,65%) + CFEM (2,00%) + Imposto de renda (2,60%) + ICMS (12,00%) = 18,25%]

mensais atingem o valor de R\$760.402,75, correspondente aos R\$4.167.590,40 de faturamento bruto mensal.

O lucro mensal líquido previsto:

Lucro líquido = faturamento bruto – (custo de produção + impostos) Lucro

Líquido = 4.167.590,40 – (768.000,00 + 760.402,75)

Lucro mensal previsto = R\$2.639.187,65

Para estimativa do CAPEX os equipamentos de lavra seriam alugados e, portanto, não foram contabilizados. Foram contabilizados apenas os custos associados à montagem da instalação de concentração de minerais pesados.

Estimou-se em uma primeira análise, um quadro proposto de 35 funcionários, com um custo anual de aproximadamente R\$ 1.201.168,00 reais.

## 4.2 Método de Lavra

O método proposto no projeto inicial foi o de lavra em tiras, porém ao realizara revisão do estado da arte para as características do depósito, percebe-se que a lavra por método de dragagem, conforme já citado neste TCC, em Cleverson (2000), é mais vantajosa, levando em consideração uma maior escala de produção, fato que viabilizaria um menor período de retorno de investimentos, bem como um menor impacto ambiental, o que reduziria os gastos com o fechamento de mina.

## CONCLUSÃO

Este TCC teve como objetivo a análise do Plano de Aproveitamento Econômico proposto para minerais pesados, no município de Caravelas, no Estado da Bahia, avaliando a exequibilidade do projeto.

Revisitando o estado da arte, observa-se que o PAE proposto, está adequado às normas de elaboração regidas pelo código de mineração, bem como as informações necessárias para a comprovação da viabilidade econômica do empreendimento.

Com base na revisão bibliográfica, é possível propor uma alteração do método de lavra, enfatizando os benefícios da substituição da lavra em tiras pela lavra por dragagem.

Pode-se definir o PAE como o documento mais importante para a elaboração de um projeto minerário, pois é a partir dele que os órgãos competentes deferem sobre uma possível autorização de lavra, assim como o objetivo de atrair investidores/compradores para o empreendimento.

## REFERÊNCIAS

- Abrão, P.C.; Singer, E. M. - 1991 - Impacto Ambiental na Mineração: Um Enfoque Metodológico. Publicação IBRAM, 1991, 328 a 343 p.
- Almeida, Wendel Eduardo de. Uma análise da importância do plano de aproveitamento econômico no processo de tomada de decisão na mineração. 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- Caritat, Pd; McInnes, BIA; Walker, AT; Bastrakov, E.; Rowins, SM; Prent, AM O Mapa de Minerais Pesados da Austrália: Visão e Projeto Piloto. *Minerais* 2022, 12, 961.  
<https://doi.org/10.3390/>
- Chaves, A. P. - 1946 - Teoria e Prática de Tratamento de Minérios, 2ª edição, São Paulo, Signus Editora, 2002.
- Curi, Adilson. Minas a Céu Aberto: planejamento de lavra. Adilson Curi. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- Cortez-Lugo, M., Riojas-Rodríguez, H., Moreno-Macías, H., Montes, S., Rodríguez-Agudelo, Y., Hernandez-Bonilla, D., Catalan-Vazquez, M., Díaz-Godoy, R., Rodríguez-Dozal, S., 2018. Evaluation of the effect of an environmental management program on exposure to manganese in a mining zone in Mexico. *Neurotoxicology* 64, 142e151.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2017.08.014>.
- Feigelson, Bruno. Curso de direito minerário. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2012, 333p.
- Furtado, Lucio Irajá. Plano de aproveitamento econômico: aspectos técnicos e jurídicos. Orientadora: Valéria Marinho do Nascimento. 2016. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu aberto) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <http://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/1965>. Acesso em: 20/02/2023.
- Hartman, H. L. - 1987 - Introductory Mining Engineering. John Willey & Sons, NY, 87 p.
- König, U.; Verryn, S.M.C. Heavy Mineral Sands Mining and Downstream Processing: Value of Mineralogical Monitoring Using XRD. *Minerals* 2021, 11, 1253.  
<https://doi.org/10.3390/min11111253>.
- Mudder, T.; Harvey, K. Closure concepts. *Mining Environmental Management*, London, v. 6, n. 6, p.8-10, nov. 1998.
- Oliveira Júnior, José Baptista de. Desativação de mina : conceitos, planejamento e custos / José Baptista de Oliveira Júnior.- Salvador : EDUFBA, 2006. 112 p.
- Paione, J. A., *Jazida Mineral Como Calcular seu Valor*, CPRM, 1999.
- Rosental, Simon. *Rochas e Minerais Industriais – CETEM/2008, 2a Edição*.
- Silva, Cleverson.G. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 18(3), 2000.
- Souza, Frederico José Campêlo de. *Treinamento em análise mineralógica de minerais pesados* / Frederico José Campêlo de Souza; João Henrique Wustrow Castro. Porto Alegre: CPRM, 2010.