



IUSSUFO JALO

Licenciado em Georrecursos & Ambiente

**Caracterização Mineralógica e Avaliação do
Potencial Mineiro das Areias Pesadas do Depósito de
Varela, Guiné-Bissau**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica

Orientador: Doutor José António de Almeida,
Prof. Associado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL

Coorientador: Doutor Gilberto Charifo,
Gerente da GoldFluvium

Júri:

Presidente: Doutor Martim Afonso Ferreira de Sousa Chichorro, Prof. Auxiliar – FCT/UNL

Arguente: Doutora Sofia Verónica Trindade Barbosa, Prof^a. Auxiliar – FCT/UNL

Vogais: Doutor José António de Almeida, Prof. Associado – FCT/UNL



Dezembro 2018

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINEIRO DAS
AREIAS PESADAS DO DEPÓSITO DE VARELA, GUINÉ-BISSAU**

Copyright em nome de Iussufo Jalo, da FCT/UNL e da UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho resulta na conclusão do Mestrado em Engenharia Geológica e permite-me aprofundar os conhecimentos científicos e práticos adquiridos ao longo da minha formação universitária em Ciências e Tecnologia. Na realização deste trabalho aproveito para exprimir a minha total gratidão a todos os que estiveram envolvidos e merecem o meu total reconhecimento.

Um agradecimento especial:

Ao meu Professor e Orientador da dissertação, José António da Almeida, pela sua orientação, pelas correções feitas e pelas recomendações dadas para redigir este trabalho científico, pela sua disponibilidade, seu apoio, e também pela sua proposta de trabalho. Professor você foi determinante na obtenção deste grau de estudo, Mestre em Engenharia Geológica pela FCT de NOVA, a minha total gratidão.

Ao meu Coorientador, Doutor Gilberto Charifo Baldé, pela sua orientação, sua disponibilidade, e pela oportunidade dada para desenvolver este projeto de investigação, pelos meios disponibilizados, apoio assistido e pelos apoios técnicos e não só disponibilizados no decorrer do trabalho.

Aos professores júris, Doutor Martim Afonso Ferreira de Sousa Chichorro e Doutora Sofia Verónica Trindade Barbosa, pela receção deste trabalho e de terem aceite examiná-lo, pela correção, retificações e recomendações feitas. Doutora Sofia Verónica Trindade Barbosa. As vossas contribuições ajudaram muito no enriquecimento deste trabalho.

Ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, aos docentes deste departamento pelas aulas dadas pelos e conhecimentos fornecidos, aos meus amigos Daniel, Margarida, Loubna, Catarina, Andrei, Sofia e aos demais colegas de turma pela experiência partilhada durante esta caminhada.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (Portugal), LNEG, pelo acesso facilitado nas consultas das obras relacionadas com a geologia da Guiné (Guiné-Portuguesa/Guiné-Bissau), ao técnico afeto a esta instituição, Eng.º Paulo Hagendorn que esteve sempre disponível a ajudar, agradeço pelos dados fornecidos que permitiram o enriquecimento deste trabalho.

Ao Ministério dos Recursos Naturais da Guiné-Bissau, e em particular à DGGM através dos dois diretores gerais, o Eng.º Doutor Gilberto Charifo Baldé e o Eng.º Umaro Baldé pelos dados disponibilizados e pela facilidade e condições favoráveis criadas que me permitiram desenvolver um trabalho de natureza científica e num ambiente muito confortável.

ANEXO III

Um reconhecimento particular vai para o Eng.º Emanuel Nhama, Helder Mutna e aos demais técnicos e colegas afetos a esta Direção que tive oportunidade de conhecer e beneficiar das suas experiências.

A minha total gratidão vai para:

Aos meus primos e irmãos Iunussa Jalo, Sulaimana Djalo, Januade Djalo, Adulai Djau, a minha prima Jubaidatu Jalo, aos meus tios Ibraima Jau e Amadila Jau, ao meu sobrinho Alceine Cabiro Jalo e aos todos familiares e amigos em Portugal pelo apoio assistido durante a minha estadia neste país. Aos meus caros amigos, Mamúdu Cefo Djalo, Infamara Mane, Calido Balde, Mamadu Bari, Alseine Baldé, Mamudu Baldé, Mamadu Talibe Jalo, Januário Cá, Bubacar Baldé, Messias Djo e a minha querida amiga, Lânica Sanca pela coragem dada ao longo desta formação, pelos momentos vividos, sempre estiveram presentes, caros amigos.

Aos meus tios Adulai Pate Djalo, Aladje Iaia Djalo e Ussumane Djau, pela coragem, pelos conselhos dados e pela orientação, os vossos telefonemas serviram de um guia para manter-me nesta linha de estudo. A minha total gratidão aos três que sempre desempenharam o papel do Pai ao longo dessa caminhada.

Aos todos que de uma forma direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho, a vossa ajuda ficará sempre registada na minha mente; o meu muito obrigado.

DEDICAÇÃO

Como indica a palavra acima, venho consagrar especialmente esta parte do trabalho aos meus pais, a minha família e amigos.

É com todo orgulho dedico este trabalho aos meus pais e as minhas queridas irmãs e aos meus queridos irmãos. A vossa afeição é única e maior, e a vossa consideração é excepcional.

Ao meu querido e amado pai, Al-Haje Aliu Assimiu Jalo, pela educação dada, de maneira humilde, honesta, digna e sobretudo, sincera, afastando-me de todo egoísmo, orgulho, arrogância e má fé que um ser humano pode ter. Pai, sempre os seus ensinamentos foram leais, talvez por isso sempre serão válidos, isto é, nunca vão expirar. A sua sabedoria, sua inteligência, o seu modo de ser e de relacionar com os próximos, tudo isso vão me inspirar para ser um homem como você, pai você é incomparável. Que Deus te presenteie com o paraíso!

À minha querida e amada mãe, Haja Genabu Jau, pela educação dada, pelo sacrifício sofrido, pela sua dedicação total para que um dia eu escreva algo do género (tese de mestrado). Mãe, você deu toda a energia que tinha a fim de garantir a nossa formação; este trabalho sente-se no teu esforço.

Às minhas mães, Haja Genabu Tupê Jalo, Aissatu Baldé e Mamudatu Jalo, pela vossa educação e orientação, pelo papel das mães desempenhado.

Aos meus irmãos Amido Jalo e Bubacar Jalo, e minha irmã Binta Assimiu Jalo, pelos apoios dados, pelos vossos acompanhamentos, pela confiança que depositaram em mim, pela aposta que decidiram de fazer em mim, deram-me toda a oportunidade e colocaram-me sempre em prioridade das vossas prioridades, pelo privilégio dado, pela essa oportunidade criada, em momento nenhum tive motivo de queixar do algo que me faltou; queridos irmãos agradeço por tudo. Às vossas queridas esposas, Mariatou Balde Jalo e Djenabu Jalo pelo acompanhamento.

A “Coto”, Mamadu Cabiro Jalo e as minhas queridas irmãs, Cadijatu Jalo, Salimatu Bela Jalo, Fatumata Jalo e Genabu Jalo, o meu muito obrigado.

Aos meus sobrinhos e sobrinhas, aqueles que me dão muita alegria e enchem-me um orgulho enorme, dos mais velhos aos recém-nascidos, o titio consagra esta parte só para vocês.

Dedico este trabalho ao Babandim, um irmão-gémeo; nesta, junta-se à Adama Djau, uma prima e amiga muito especial, uma companheira única, querida esposa, este trabalho é todo nosso.

RESUMO

Este trabalho, Tese de Mestrado foi realizado no âmbito do projeto de avaliação e valorização dos recursos naturais da Guiné-Bissau, mais concretamente das Areias Pesadas de Varela, tendo em vista a sua exploração mineira. Envolveu trabalho de campo (visitas ao local, recolha de amostras) e trabalho de gabinete (consulta de vários documentos, análises químicas e mineralógicas das areias, e avaliação de quantitativos). Tem como objetivo constituir-se como um documento de trabalho com suporte científico atual, de forma a beneficiar todas as partes envolvidas, nomeadamente o estado guineense, a população local, a sociedade civil, e empresas mineiras que possam explorar este recurso e respetivos investidores.

O trabalho apresenta, em primeiro lugar, o enquadramento geográfico e geológico da Guiné-Bissau, quer em termos gerais quer no particular dos diferentes depósitos minerais de Areias Pesadas, tanto para o território nacional como para a região de Varela. Descreve-se esta matéria-prima, nomeadamente os principais minerais constituintes, as principais aplicações industriais, e a sua importância emergente para serem aplicadas em novos produtos. Para confirmar a composição mineralógica destas areias, foram efetuadas análises num equipamento próprio de identificação mineralógica semiautomático.

Seguidamente, faz-se a compilação dos estudos de avaliação dos recursos disponíveis em areias pesadas do depósito mineral de Varela e apresenta-se um estudo de confirmação dos resultados quantitativos estimados. Esta estimativa de quantitativos totais, associada às quantidades verdadeiramente exploráveis, permite estimar o tempo de vida dos projetos a instalar no local e o ritmo de produção. Este trabalho faz ainda um enfoque importante na análise económica, incluindo a preparação de bases do cálculo do benefício global esperado, através dos resultados obtidos das análises mineralógicas. No estudo económico foram tidos em conta os custos de extração e processamento e o preço de venda a valores de mercado. Foram testadas variações destes valores e é apresentada uma análise de sensibilidade do benefício. As condições ambientais também não foram esquecidas, e fazem-se algumas recomendações no que se refere aos descritores água superficial e subterrânea, solos / desertificação e ruído.

Palavras-chave: depósito mineral de Varela, areias pesadas; análise mineralógica; avaliação de recursos; Guiné-Bissau.

ABSTRACT

This Master Thesis work was produced within the scope of the project of evaluation and valorisation of the natural resources of Guinea-Bissau, more concretely of the Heavy Mineral Sands of Varela, in view of its mining exploitation. It involved fieldwork (site visits, sample collections) and cabinet work (consultation of documents, chemical and mineralogical analyses of the sands, and quantitative evaluation). Its objective is to constitute a working document with scientific support, to benefit all parties involved, namely the State of Guinea-Bissau, the local population, the civil society, and the mining companies that can exploit this resource and its stockholders.

This report presents, initially, the geographical and geological context of Guinea-Bissau, both in general terms and in the particular of the different deposits of minerals of the Heavy Sands, likewise for the national territory and as well as for the Varela region. This raw material describes, namely the main constituent minerals, the main industrial applications, and their emerging importance to be applied in new products. In order to confirm the mineralogical composition of these sands, analyses were carried out on a patented equipment of semi-automatic mineralogical identification.

Consecutively, it presents an evaluation study of the resources available in heavy sands of the Varela mineral deposit. This estimation of total quantitative, associated to the accurately exploitable quantities, allows to estimate the period of the projects to install in the place and the rate of production. This work also makes an important focus on economic analysis, including the calculation of the expected overall benefit. The economic study considered the costs of extraction and processing and the sale price at market values. Variations of these values were tested, and a benefit sensitivity analysis is presented. Environmental related issues and conditions were duly considered, and recommendations are made regarding the descriptors surface and groundwater, soils/desertification and noise pollution.

Key words: Varela mineral deposit, heavy sands; mineralogical analysis; resource assessment; Guinea-Bissau.

Índice Geral

| | |
|--|---|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Enquadramento e objetivo do estudo 1 |
| 1.2 | Organização da dissertação 2 |
| 1.3 | Descrição da matéria-prima e principais mercados..... 3 |
| 1.3.1 | Ocorrências minerais com interesse económico 4 |
| 1.3.1.1 | Zircão..... 4 |
| 1.3.1.2 | Ilmenite..... 5 |
| 1.3.1.3 | Rútilo 5 |
| 1.3.2 | Metais de interesse encontrados nas areias pesadas de Varela 6 |
| 1.3.2.1 | Titânio 6 |
| 1.3.2.2 | Zircônio 7 |
| 2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO DEPÓSITO MINERAL AREIAS PESADAS DE VARELA, NA GUINÉ-BISSAU | 9 |
| 2.1 | Enquadramento geográfico..... 9 |
| 2.2 | Enquadramento geológico regional e origem das areias pesadas de Varela ... 10 |
| 2.3 | Enquadramento geológico local 13 |
| 3. ESTUDO MINERALÓGICO E GEOQUÍMICO DAS AREIAS DE VARELA | 17 |
| 3.1 | Breve historial mineiro e recolha das amostras <i>in-situ</i> 17 |
| 3.2 | Preparação das amostras e análises laboratoriais 19 |
| 3.3 | Curva granulométrica e comparação das amostras 20 |
| 3.4 | Análise mineralógica quantitativa 25 |
| 3.5 | Análise de eficiência de uma separação magnética..... 32 |
| 3.6 | Análise por XRF do concentrado obtido na separação magnética 34 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4. | ELEMENTOS DE BASE DO PROJECTO DE EXPLORAÇÃO E ANÁLISE ECONÓMICA | 35 |
| 4.1 | Avaliação de recursos..... | 35 |
| 4.1.1 | Apresentação de conceitos..... | 35 |
| 4.1.2 | Estimativa de quantitativos..... | 36 |
| 4.2 | Bases técnicas do projeto mineiro de exploração das areias pesadas de Varela | 38 |
| 4.2.1 | Escavação e carga..... | 38 |
| 4.2.2 | Transporte..... | 39 |
| 4.2.3 | Central de processamento..... | 39 |
| 4.2.4 | Resíduos..... | 41 |
| 4.2.5 | Stocks..... | 42 |
| 4.2.6 | Ocorrências de argilas..... | 42 |
| 4.3 | Desempenho económico de minas semelhantes..... | 43 |
| 4.4 | Preços de venda..... | 43 |
| 5. | ALGUMAS CONSIDERAÇÕES TENDO EM VISTA UM FUTURO ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL | 45 |
| 5.1 | Descritores de enquadramento | 45 |
| 5.1.1 | Clima | 45 |
| 5.1.2 | Ecologia / Floresta..... | 46 |
| 5.1.3 | Hidrologia/Hidrogeologia..... | 46 |
| 5.2 | Considerações geoambientais..... | 47 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 51 |
| 7. | REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS..... | 53 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Enquadramento geográfico da zona de estudo: localização da Guiné-Bissau no continente africano (esquerda) e localização do depósito mineral de Varela na Guiné-Bissau (a direita)..... | 9 |
| Figura 2.2 Carta geológica da Guiné-Bissau à escala: 1/400.000 (Alves, 2007, Alves <i>et al</i> , 2011). | 12 |
| Figura 3.1 Jazigo de Varela, local de recolha das amostras Am-1 e Am-2..... | 18 |
| Figura 3.2 Jazigo de Varela, recolha das duas amostras de concentrado (C+C. e C.R.) em antigas áreas de stock deixadas pelas empresas chinesa e russa que operaram no local..... | 19 |
| Figura 3.3 Divisor de amostras tipo Jones, laboratório de preparação de amostras DCT da FCT-NOVA | 20 |
| Figura 3.4 Série de seis peneiros utilizados para a determinação das curvas granulométricas das areias pesadas de Varela..... | 21 |
| Figura 3.5 Curva granulométrica da amostra Am-1 | 22 |
| Figura 3.6 Curva granulométrica da amostra de concentrado russo (C.R.) | 23 |
| Figura 3.7 Curva granulométrica da amostra de rejeitado russo (R.R.) | 24 |
| Figura 3.8 Representação conjunta das curvas granulométricas das amostras Am-1, C.R. e E.E. | 25 |
| Figura 3.9 (esquerda) Fotografia do equipamento MLA 650; (direita) preparação das 6 amostras em suportes de resina cilíndricos..... | 26 |
| Figura 3.10 Lista dos grãos identificados pelo MLA650 relativos à amostra Am-1..... | 27 |
| Figura 3.11 Lista dos grãos identificados pelo MLA650 relativos à amostra CR..... | 28 |
| Figura 3.12 Separador magnético de laboratório Frantz. | 32 |
| Figura 4.1 Etapas principais de um projeto mineiro de exploração das areias pesadas de Varela. | 38 |
| Figura 4.2 Vista da exploração mineira e escavação de areias com uma giratória. | 39 |
| Figura 4.3 Espirais Humphrey utilizadas pelas empresas mineiras que já exploraram anteriormente no local para a concentração das areias pesadas de Varela. | 40 |
| Figura 4.4 Local de deposição de resíduos da antiga exploração de areias pesadas de Varela... | 42 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 5.1 Equipamento abandonado no local pelas anteriores empresas mineras que exploraram as areias pesadas de Varela. | 48 |
| Figura 5.2 Antigas áreas de exploração das areias de Varela que não foram reabilitadas convenientemente..... | 49 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 Amostras e os respetivos pesos iniciais (areia húmida) e final (areia seca) | 20 |
| Tabela 3.2 Resultados do peneiramento da amostra Am-1 | 22 |
| Tabela 3.3 Resultados do peneiramento da amostra de concentrado russo (C.R.)..... | 23 |
| Tabela 3.4 Resultados do peneiramento da amostra de rejeitado russo (R.R.) | 24 |
| Tabela 3.5 Análise mineralógica modal das amostras ensaiadas (% em área)..... | 29 |
| Tabela 3.6 Minerais observados e principais propriedades..... | 29 |
| Tabela 3.7 Análise mineralógica modal das amostras ensaiadas (% em peso). | 30 |
| Tabela 3.8 Frações de minerais magnéticos e não magnéticos da amostra Am-1 ensaiada (% em peso). | 33 |
| Tabela 3.9 Resultados das leituras por XRF portátil sobre a fração magnética das areias. | 34 |
| Tabela 4.1 Resultados quantitativos das quantidades de areia e minerais pesados publicadas no Relatório Geológico, Direção Geral da Geologia e Minas (Sociedade «POTO S.A.R.L» & DGGM (2012). | 37 |
| Tabela 4.2 Preços de venda nos mercados internacionais dos minerais rutilo, ilmenite e zircão, dados de 2011 e 2017 em dólares americanos por tonelada..... | 44 |
| Tabela 5.1 Síntese mensal dos principais parâmetros climáticos para a cidade de Bissau ao longo de 2017 (Boletim meteorológico de Bissau, 2017). | 45 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVO DO ESTUDO

No âmbito das políticas de prospeção e pesquisa e num plano para a exploração e valorização dos recursos minerais de um país, um estudo de Caracterização de um Depósito Mineral e o respetivo esboço de Projeto de Mina são instrumentos fundamentais e determinantes na avaliação preliminar dos minerais presentes e do seu potencial económico. Estes estudos comportam várias fases, que incluem, de forma simplificada, cartografia geológica de campo, recolha de amostras, estudos laboratoriais destinados a identificar os principais minerais e os elementos químicos presentes, compilação dos resultados da avaliação de recursos, proposta de tecnologias extrativas e de concentração, identificação de mercados e estimativa de custos de investimento e exploração.

O estudo e caracterização qualitativa e quantitativa dos depósitos minerais (avaliação de recursos) é sempre uma das etapas mais importantes da valorização desses recursos, e antecede o seu eventual aproveitamento mineiro. Existe atualmente consciência para a implementação de políticas de aproveitamento dos recursos naturais, nomeadamente dos minerais que são considerados raros ou críticos, mas que são fundamentais ao bem-estar e à manutenção da qualidade de vida das sociedades.

A Guiné-Bissau tem ainda pouca experiência no setor geológico-mineiro, muito devido à crónica falta de investimento no sector, que se traduz em reduzidos trabalhos de prospeção, pesquisa e exploração de recursos minerais. Por esta razão, todos os trabalhos que sejam desenvolvidos para este setor são bem-vindos, nomeadamente os que recorrem a tecnologias avançadas e os que estudem as matérias-primas que não necessitam de grandes investimentos para a sua mineração.

O principal objetivo deste trabalho é a caracterização e identificação das matérias-primas minerais que se encontram no depósito mineral das Areias Pesadas de Varela, Guiné-Bissau. Assume-se como uma contribuição, confirmando a existência de elementos químicos metálicos com interesse económico, tentando de alguma forma com os seus resultados responder às necessidades e expectativas da potencial exploração e valorização deste interessante recurso para a economia nacional e regional.

O trabalho inicia-se com uma descrição geológica e geomorfológica da zona em estudo baseada em consulta bibliográfica. Segue-se o reconhecimento *in situ* do local, incluindo a recolha de amostras das areias de vários locais destinadas a análises laboratoriais comprovadas para identificar os minerais presentes que permite confirmar os anteriores trabalhos realizados e

estabelecendo uma correlação existente entre os minerais dominantes neste jazigo de Varela, determinando assim a proporção dos elementos mais abundantes neste depósito mineral.

Neste contexto, entendeu-se necessário e útil realizar um trabalho de investigação científica com este propósito, caracterizar as areias presentes neste local (os minerais reportados como com interesse económico são a ilmenite, zircão e o rútilo) através de análises mineralógicas e geoquímicas, também esta investigação permite-nos identificar novos grupos/minerais/elementos químicos que até no momento eram desconhecidos ou muito pouco se fala deles, e finalmente apresentar um reporte de quantitativos estimados.

Num projeto mineiro é igualmente fundamental estruturar as etapas de execução dum projeto mineiro, nomeadamente ao nível das melhores tecnologias a utilizar, e espelhar as melhores práticas, com minimização de impactes ambientais, deste modo neste trabalho abordam-se estas questões.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos que se entendeu ser a melhor forma de dar ênfase e apresentar os resultados alcançados.

O primeiro capítulo é reservado ao enquadramento do caso de estudo (Areias Pesadas de Varela, Guiné-Bissau), explica o objetivo principal deste trabalho e refere o interesse tecnológico dos minerais e metais presentes.

O segundo capítulo está focado para a descrição da zona de estudo e é baseado em consultas bibliográficas. Inicia-se com a descrição da geologia e da geomorfologia, seguindo um enquadramento do regional para o local. Estabelece-se uma relação entre a morfologia e a geologia da zona de Varela com os depósitos minerais aí presentes, descrevendo-se a sua génese e os fenómenos envolvidos. Neste contexto, abordam-se os principais eventos que marcaram a região de estudo, e inclui-se uma carta geológica que expõe a natureza dos recursos geológicos aí presentes.

O terceiro capítulo é dedicado ao estudo laboratorial das amostras de areias retiradas do local, nomeadamente granulometria das areias, minerais presentes, e elementos químicos presentes.

No capítulo quatro deste trabalho apresenta-se os Elementos de Base do Projeto de Mina e um Estudo de Viabilidade Económica para esta matéria-prima, com base numa estrutura de custos e preços de venda atualmente em vigor nos mercados. Propõem-se medidas e alternativas

adequadas sobre o avanço na execução do projeto mineiro bem estruturado e viável para sua implementação.

O capítulo seguinte cinco é dedicado exclusivamente aos aspetos geoambientais, que se entende serem muito importantes para um projeto de exploração desta natureza. É importante referir que, hoje em dia, qualquer projeto mineiro é sempre acompanhado de um Estudo de Impacte Ambiental, prevalecendo as boas-práticas de preservação, proteção e conservação do ambiente e da biodiversidade da zona afetada. Apresentam-se um conjunto de recomendações que deverão ser tomadas em consideração aquando da implementação dos trabalhos mineiros para a exploração destas areias. As referidas recomendações são suportadas por critérios científicos e destinam-se a implementar medidas eficientes e sustentáveis.

No capítulo das conclusões, e quase a terminar, faz-se uma síntese global da realidade encontrada na zona de estudo, e mencionam-se as principais conclusões e recomendações sobre a viabilidade económica dum futuro projeto de exploração dos minerais principais e associados presentes, e também do impacte ambiental que esse projeto pode causar e da influência desse projeto na vida económica e social dos populares da zona e assim como para a Guiné-Bissau.

Não menos importante, no capítulo sete listam-se os elementos que foram consultados ao longo deste trabalho.

1.3 DESCRIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E PRINCIPAIS MERCADOS

O depósito mineral de Varela é constituído essencialmente por areias ditas pesadas, porque contém minerais densos em quantidades apreciáveis e com potencial interesse para serem exploradas como mina.

Areias são conjuntos de partículas desagregadas, de natureza mono ou poli mineral, que se encontram no leito dos rios, mares, praias e também em desertos. São formadas a partir de rochas, que por ação de vários mecanismos foram reduzindo-se sucessivamente de tamanho e também transportadas. Para ser chamada de areia, os grãos têm dimensões compreendidas entre 0,063 e 2 milímetros. A composição mineralógica das areias é sempre muito variada e depende da rocha que lhes deu origem. Um dos minerais que está quase sempre presente é o quartzo, porque se trata de um mineral muito resistente à alteração e também muito abundante na crosta terrestre.

Vários estudos de reconhecimento e de identificação feitos no passado às areias pesadas da Guiné-Bissau mostraram que o quartzo ocorre em quantidades significativas, assim como um

conjunto de minerais ditos densos ou pesados como o zircão, ilmenite e rútilo em proporções que variam de local para local. Estes minerais são conhecidos como fontes primárias dos elementos químicos metálicos zircônio (Zr) e titânio (Ti) (ilmenite e rútilo) e por isso tornam estas areias interessantes do ponto de vista económico.

1.3.1 OCORRÊNCIAS MINERAIS COM INTERESSE ECONÓMICO

1.3.1.1 Zircão

O mineral zircão é um silicato de zircônio (fórmula química $ZrSiO_4$) com composição aproximada de 67,2% de ZrO_2 e 32,8% de SiO_2 . Cristaliza no sistema tetragonal e pertence ao grupo dos nesossilicatos. Apresenta média a elevada densidade (3,9 a 4,86), alta dureza (6,5 a 7,5), elevado índice de refração, elevado ponto de fusão (1500°C), baixa expansão térmica, e é muito resistente ao ataque ácido, choque térmico e desgaste por atrito. Apresenta cores variadas tais como marrom, verde, azul, vermelho, amarelo e até pode aparecer incolor. Estas propriedades concedem a este mineral as características muito particulares e fazem com que seja frequentemente encontrado nas areias desde que exista na rocha mãe.

O zircão é um mineral acessório comum constituinte da maioria das rochas ígneas graníticas e félsicas. Devido à sua dureza, durabilidade e inércia química, o zircão é um constituinte habitual da maioria dos depósitos de areias e arenitos, e também de solos lateríticos (tipo de solo muito alterado com grande concentração de hidróxidos de ferro e alumínio). Os depósitos aluvionares de zircão estão, em geral, associados aos minerais pesados de titânio, como a ilmenite ($FeTiO_3$) e o rútilo (TiO_2), e de estanho (cassiterite, SnO_2). O mineral zircão constitui a principal fonte do elemento químico zircônio.

O zircão na forma mineral é utilizado principalmente como um opacificante, nomeadamente na indústria cerâmica. Outros usos são, por exemplo, refratários, barras de combustível nuclear, conversores de combustível catalítico e em sistemas de purificação de água e ar. O zircão é ainda um dos principais minerais utilizados pelos geólogos para datações.

São ainda utilizadas areias de zircão para aumentar a resistência global e a resistência ao calor de materiais cerâmicos para fornos de alta temperatura, devido ao seu ponto de fusão alto, é utilizado na fundição dos certos elementos; ponto de fusão: 1 855 °C. É utilizado em muitos revestimentos das fundições, tanques químicos e unidades de contenção de calor. Além disso, o pó de zircão em esmaltes cerâmicos lhes dá uma opacidade que permite que as cores permanecem fixas. O zircão também é comercializado como uma pedra preciosa natural.

Os países com reservas significativas deste mineral são o Brasil, Moçambique, Rússia, China, Estados Unidos da América, Austrália, Áustria, Suíça e Índia. A estes juntam-se o Senegal e a Guiné-Bissau com reservas assinaláveis já identificadas.

1.3.1.2 Ilmenite

A ilmenite é um óxido natural de ferro e titânio (FeTiO_3), que corresponde aproximadamente a 52,6% em peso de Ti_2O e 47,4% de FeO . Cristaliza no sistema trigonal. Apresenta média a elevada densidade (4,7 a 4,79) e dureza média (5 a 6). É opaco, tem cor preta e é um importante minério de titânio. Em termos de propriedades diagnósticas, a ilmenite pode ser identificada pelas suas propriedades magnéticas fracas, e também pela densidade e brilho metálico a submetálico. Os cristais de ilmenite são geralmente maciços e romboédricos.

A ilmenite pode ser encontrada como mineral acessório em rochas metamórficas e intrusões de rochas ígneas, especialmente gabros e noritos. O nome ilmenite deve-se muito provavelmente a um dos locais onde foi descoberto e explorado de forma abundante, os Montes Ilmenski, perto de Miass, na Rússia. Em certas condições apresenta-se numa associação variável, normalmente com magnetite em rochas basálticas e ácidas.

A ilmenite é um importante minério fonte de ferro e titânio, principalmente deste último. A maior parte da ilmenite minerada é obtida de fontes secundárias, tais como areias de praia, onde é encontrada normalmente como partículas arredondadas com um diâmetro entre 0,1 e 0,2 mm. Importa referir que este mineral é a principal matéria-prima do depósito de areias pesadas de Varela que suporta este estudo.

A ilmenite é explorada tendo em vista a produção de dióxido de titânio. Por sua vez, o dióxido de titânio é um pigmento branco de alta qualidade e é também utilizado para a produção de titânio metal.

1.3.1.3 Rútilo

O mineral rútilo é um dióxido de titânio (fórmula química TiO_2), sendo um dos três polimorfos de TiO_2 (anátase e brookita). Cristaliza no sistema tetragonal e pode ser utilizado para a extração de titânio. Tem uma densidade relativa entre 4,1 a 4,2, brilho metálico a adamantino, é opaco e transparente quando pouco espesso, e cor geralmente marrom ou vermelho, algumas vezes, amarelo, azul ou violeta. Este mineral pode conter até 10% de ferro.

O rútilo é um mineral acessório comum em rochas ígneas e rochas metamórficas de alta pressão e temperatura. Ocorre muitas vezes em tufos aciculares encravados no quartzo.

Os principais usos do rútilo são o fabrico de cerâmica refratária, como pigmento, e a produção do metal de titânio. O rútilo finamente moído é um pigmento branco brilhante que é utilizado em tintas, plásticos, borracha, papel, cosméticos, alimentos e outras aplicações que exigem uma cor branca brilhante. O TiO_2 produz brancura a 90% e o padrão 100% é o MgO. As partículas de rútilo são transparentes à luz visível, mas são altamente eficazes na absorção de radiação ultravioleta, razão pela qual estas partículas são utilizadas como protetores solares. O rútilo é ainda amplamente utilizado como revestimento de eléctrodos de soldagem. Mais recentemente tem sido comercializado um produto de substituição semelhante ao sintético.

1.3.2 METAIS DE INTERESSE ENCONTRADOS NAS AREIAS PESADAS DE VARELA

Os principais elementos químicos metálicos que podem ser extraídos dos minerais identificados nas areias pesadas de Varela são o titânio (Ti) e o zircónio (Zr). Seguidamente, tecem-se alguns breves comentários sobre estes dois metais, em particular as suas características e os principais usos.

1.3.2.1 Titânio

O titânio (Ti) é um elemento químico metálico com o número atómico 22 pertencente à primeira série de transição. O seu nome deriva da palavra grega titanos (Titans).

O titânio puro metal pode existir como um metal brilhante escuro ou como um pó cinzento escuro. A sua densidade é 4,6. Em geral, o titânio não é reativo, não se combina com o oxigénio à temperatura ambiente; no entanto exposto ao ar, o elemento forma uma cobertura passiva de óxido. A temperaturas mais altas reage com oxigénio, azoto, cloro e outros não-metais e é solúvel em ácidos diluídos.

O titânio, é extraído a partir dos minerais ilmenite e rútilo, mas também ocorre em muitos outros minerais. É obtido por aquecimento do óxido de titânio com carbono e cloro para dar TiCl_4 que é reduzido pelo processo Kroll.

O titânio é tão forte como o aço, mas muito menos denso. Por conseguinte, é importante como um agente de liga com muitos metais incluindo o alumínio, ferro e molibdéneo, sendo utilizado no fabrico de certas ligas resistentes ao calor. Estas ligas são usadas principalmente em

aeronaves, naves espaciais e mísseis por causa de sua baixa densidade e capacidade de resistir a condições extremas de temperatura.

O titânio é resistente à corrosão pela água salgada, por isso é utilizado em instalações de dessalinização e para proteger os cascos dos navios, submarinos e outras estruturas expostas à água do mar.

O metal titânio liga bem com osso humano, por isso é muito utilizado nas aplicações cirúrgicas, tais como na substituição de articulações (especialmente articulações da anca) e implantes dentários.

O maior uso de titânio é, sob a forma de titânio (IV), este é amplamente utilizado como pigmento branco brilhante com excelente poder de cobertura em tintas, plásticos, esmaltes e papel. O titânio (IV) ainda é utilizado em filtros solares porque impede que a luz UV atinja a pele. Nanopartículas de titânio (IV), óxido e tem a tendência de ficar invisível quando aplicado à pele.

1.3.2.2 Zircônio

O zircônio (Zr) é um elemento químico com o número atômico 40. Tem características metálicas, é muito dificilmente atacável pelos ácidos, e é usado em aços especiais. O zircônio é extraído do mineral zircão.

O zircônio é utilizado no fabrico de ligas que por sua vez são usadas para encapsular combustível nuclear e como material estrutural em reatores, na indústria química para a fabricação de equipamento resistente à corrosão e na indústria eletrônica na forma de filamentos e placas. Outra aplicação do zircônio é em ligas com ferro, estanho e outros metais puros, com o háfnio. A zircão é utilizada nos setores de fundição, cerâmica e de refratários.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO DEPÓSITO MINERAL AREIAS PESADAS DE VARELA, NA GUINÉ-BISSAU

2.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A Guiné-Bissau, oficialmente República da Guiné-Bissau, é um país da África Ocidental que faz fronteira a norte com o Senegal, a sul e a oeste com a Guiné-Conacri e a leste encontra-se o Oceano Atlântico (ver figura 2.1). A área total é de 36.125 quilómetros quadrados e conta com uma população de cerca de 1,6 milhões de habitantes (INE 2018).

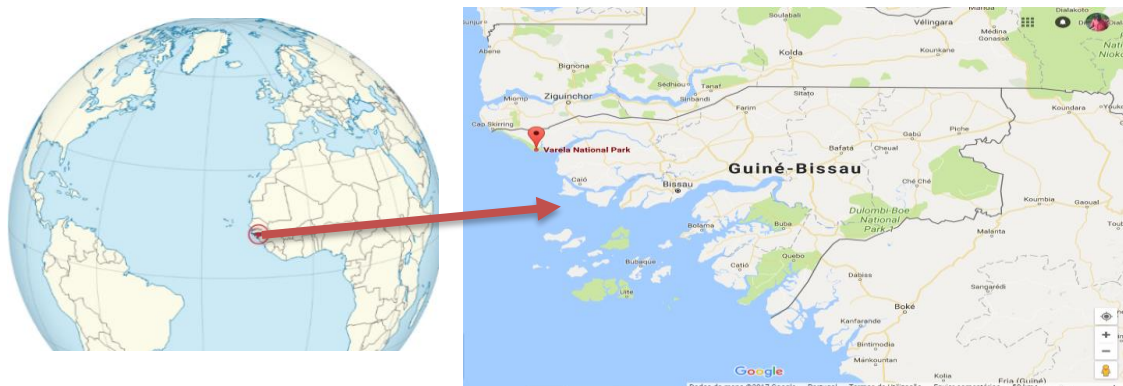


Figura 2.1 Enquadramento geográfico da zona de estudo: localização da Guiné-Bissau no continente africano (esquerda) e localização do depósito mineral de Varela na Guiné-Bissau (a direita)

A Guiné-Bissau é um país muito plano, com poucos relevos, fruto da sua natureza geográfica e geológica. A altitude máxima é de 300 m na zona leste do país. Podem ser observadas três variedades de planícies: (i) costeiras, onde o agente de sedimentação é o mar; (ii) fluviais, onde um rio é responsável pela sua formação; (iii) e planícies de origem ou natureza lacustre, formadas pela ação de lagos.

O depósito mineral das areias de Varela que é a zona alvo deste estudo fica localizada próximo das povoações de Susana-Varela, região de Cacheu, na parte noroeste da Guiné-Bissau (figura 2.1), já na costa do Oceano Atlântico Este depósito estende-se ao longo da fronteira com o Senegal, parte noroeste até o estuário do rio Cacheu no Sudeste, este rio se desagua no Oceano Atlântico através duma desembocadura.

As areias pesadas propriamente ditas encontram-se nos arredores da povoação de Varela, que deu o nome ao depósito mineral. O acesso ao local faz-se através de uma estrada de terra

batida, que liga São Domingos (cidade a cerca de 150 km para noroeste de Bissau) a Varela, cerca de 60 km. Este acesso é muito condicionado na época das chuvas.

2.2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL E ORIGEM DAS AREIAS PESADAS DE VARELA

Recorrendo aos trabalhos anteriores em arquivo na Direção Geral de Geologia e Minas (DGGM) da Guiné-Bissau e no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) sobre o estudo geológico da Guiné-Bissau e interpretação da carta geológica nacional (Alves *et al*, 2011), assim como os trabalhos de prospeção realizados ao longo dos últimos anos por várias empresas, foi possível redigir o seguinte enquadramento geológico (Pereira, 1943).

Trata-se primeiro de um trabalho levado a cabo pelo Ministério de Recursos Naturais da Guiné-Bissau, através da sua DGGM em colaboração com o Centro de Geologia do Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT), e beneficiando do apoio institucional do LNEG e do Instituto Camões, permitiu registar novos conhecimentos sobre a geologia do país, esse que culminou na elaboração da carta geológica nacional. Posteriormente, a carta geológica elaborada para a Guiné-Bissau ajudou a aprofundar o conhecimento geológico a nível de território nacional, ilustrando melhor as informações geológicas descobertas até agora.

Em termos regionais, os estudos geológicos levados a cabo até à data permitem concluir que a Guiné-Bissau está integrada numa vasta região do NW de África, geologicamente constituída por três unidades estruturais: (i) Cratão Oeste Africano; (ii) Cadeias orogénicas; (iii) Bacias meso-cenozoicas.

Importa referir que o Cratão Oeste Africano não está identificado no país. Já as cadeias orogénicas rodeiam a margem ocidental do Cratão, sob a forma de um cinturão móvel poliorogénico, que foi afetado por três eventos tectónicos (Villeneuve, 2005):

- Panafricano I
- Panafricano II
- Hercínico

O evento Panafricano está representado no país apenas no extremo NE, com as unidades mais antigas do território (Neoproterozóico a Câmbrico), sendo essas unidades incluídas por correlação geológica nos Grupos de Koulountou, Batapá e Youkounkoun, definidos nos países vizinhos. As unidades correspondentes a estes grupos na Guiné-Bissau são, respetivamente, o Complexo Vulcânico e Sedimentar, os Argilitos Multicores e o Grés do Caium. Seguem-se as

unidades do Paleozoico, ocorrendo na metade Este do país, estando representado o intervalo compreendido entre o Ordovícico e o Devónico superior, com uma espessura de sedimentos que atinge mais de 2 km. Estão integradas na bacia sedimentar paleozoica constituída em grande parte pelo Sinclinal de Bafatá, incluído na Bacia de Boké (Guiné Conacri). Também é de referir que a geologia dessa zona inclui rochas do Ordovícico, Silúrico e Devónico (Teixeira, 1968).

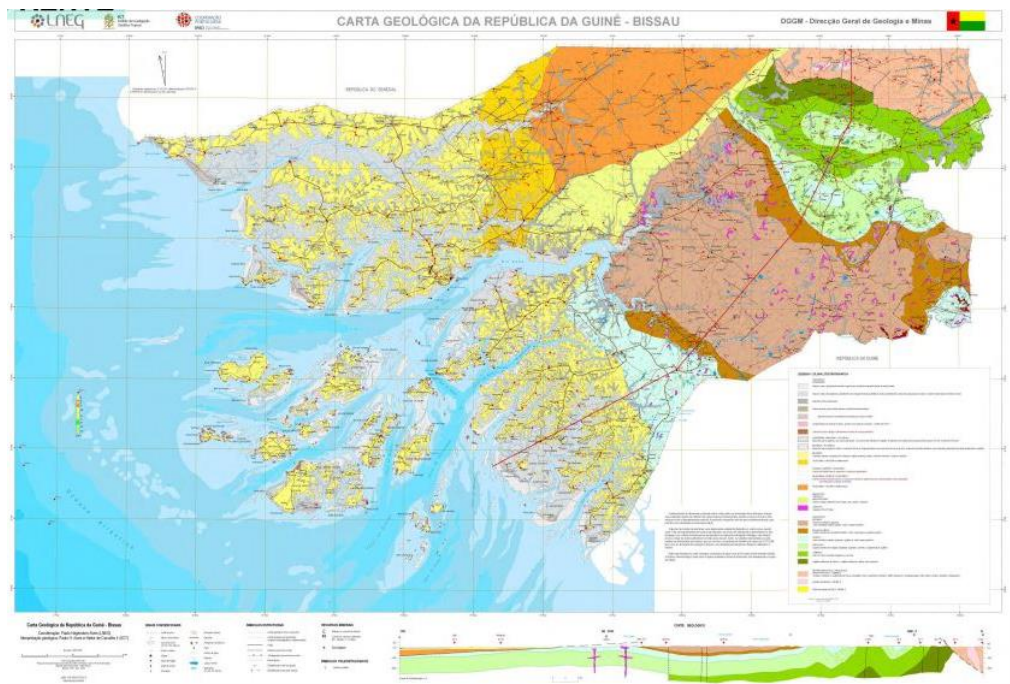
As unidades referidas são constituídas basicamente por rochas sedimentares e metamórficas. Também as rochas ígneas estão representadas na Guiné-Bissau pelos Granitos de Pirada (Neoproterozoico) e por doleritos e microdoleritos jurássicos. Como consequência direta da abertura do Atlântico na geologia da região, verificou-se o aprofundamento gradual das rochas paleozoicas para W, em relação com a flexura continental que bordeja a costa africana nesta margem passiva, ocupada pela Bacia do Senegal, uma das maiores bacias meso-cenozoicas do Mundo (com cerca de 350.000 km²), com séries sedimentares que apresentam um espessamento notável de E para W, atingindo espessura da ordem de 12km no depocentro, cerca de 150 km a oeste de Bissau (Hallebeek, 1981).

A coluna estratigráfica meso-cenozoica inclui unidades desde o Jurássico superior ao Quaternário, sendo que a espessura mais importante é representada pelo Cretácico. Esta sequência é constatada sobretudo no offshore por sondagens efetuadas para pesquisa de hidrocarbonetos, enquanto que no restante território da Guiné-Bissau é sobretudo o Cenozoico que apresenta expressão mais desenvolvida, com relevo para o Quaternário (Teixeira, 1962).

A abertura do Atlântico Central, iniciada no Triásico, teve consequências importantes na caracterização geológica da Guiné-Bissau, pois permite considerar que o país está dividido em dois domínios:

- I) A metade oeste (W) é ocupada pelos sedimentos espessos da Bacia Mesocenozóica, associados ao preenchimento sedimentar em progradação (abertura do Atlântico) incluindo coberturas cenozoicas no topo. Nestas coberturas destacam-se os calcários margosos (Miocénico) e os sedimentos areno-argilosos (Mio-Pliocénico, Fácies Continental Terminal) (Alves *et al*, 2011).
- II) A este (E), são encontradas as rochas paleozoicas e pré-câmblicas, geralmente cobertas por sedimentos pós-eocénicos com espessuras até 30m, e que afloram apenas em 5 % da área.

Estes domínios são evidentes na carta geológica da Guiné-Bissau à escala 1/400.000 (figura 2.2).



Legenda da carta geológica da Guiné-Bissau (A grande parte dos trabalhos da identificação das litologias é feita com base em sondagens)

- M (Maestrichtiano): Calcários amarelos; Miocénico": Calcários Margosos amarelos e brancos, por vezes fossilíferos, argilas silito-arenosas, areias.
- OM. "Oligocénico-Miocénico indiferenciado": Argilas cinzentas e cinzento-azuladas, passagens argilíticas, intercalações de areias argilosas e de calcários cinzentos ou esbranquiçados; presença de fosfatos, lenhite, glauconite.
- PE "Paleocénico-Eocénico indiferenciado": Calcário, calcários dolomíticos, calcários margosos, margas, argilas cinzentas, argilas arenosas; fosfatos.
- Ma "Maestrichtiano": Argilas arenosas, areias, alternância de margas e níveis calcários; arenitos e areias espessas.
- Dms (Divonio maestrichtiano somital): Xisto de Bafatá: Argilitos, xistos e quartzo-arenitos, Grupo d'Bafatá
- Di: Quartzo, arenitos de Cusselintra-Saltinho: Xistos Grauvaques e quartzo-arenitos.
- S: Xistos de Buba; Arenitos, quartzitos, argilitos e xistos negros e cinzentos, piritosos e carbonosos.
- O: Quartzo-Arenitos de Canjufa-Canjadude; "Ordovício": quartzitos, arenitos, conglomerados, argilitos.
- C2: Grés do Calum; "C2": Arenitos poligénicos e arcoses
- C1: Argilitos multicores, Xistos de Cantran; "C1": Argilitos multicores, siltitos, raros calcários
- VS: Complexo Vulcânico e Sedimentar "VS" Xistos e Quartzitos sericíticos, Siltitos quartzosos, metagrauvaques, metavulcanitas.

- Conglomerados e brechas do Séli.
- Laterite do litoral e Bijagós (afloramentos litorais de couraça laterítica)
- Concentrações ou jazigos de bauxite.
- Rochas Intrusivas
- δ: Doleritos (Bassot et al, 1986).
- Filões de quartzo.
- X: Granitos de Pirada, grão fino a médio, leucocrata, deformado (rio de Bidgor); grãos grosseiros (rio Mael Jaubé).

Figura 2.2 Carta geológica da Guiné-Bissau à escala: 1/400.000 (Alves, 2007, Alves *et al*, 2011).

Considerando a discordância ilustrada na carta acima (pontos em azul), teremos:

1-Este: Formações Paleozoico e Precâmbrico aflorando em apenas em 5% da área, esta área é coberta de cenozoicas, com espessura inferior ou igual a 30 metros.

2-Oeste: Bacia Mesocenozóica incluindo coberturas cenozoicas (basamento de Paleozoico).

Assim, as unidades representadas na carta resultam da interpretação dos autores, que, por sua vez, apoiaram entre si, não só em trabalhos de campo, bem como em levantamentos geológicos diversos e nas interpretações, com destaque para Bechenec 1982, Marques e Motta 1983, Mamedov 1980, Teixeira 1968. Na outra face da folha inclui-se os logs de 350 sondagens, com interpretação litostratigráfica e com informação resumida das (sobre) formações geológicas.

É de sublinhar que para elaboração desta carta, só foram selecionadas algumas regiões de estudo, as zonas identificadas como mais problemáticas e até na altura, como maior interesse mineira e geológica.

Em termos locais, a geologia da Guiné-Bissau é muito condicionada pela morfologia muito aplanada (plataforma), em que menos de 3 % do território tem cota superior a 100 m, com uma rede hidrográfica muito penetrativa e extensas áreas de aluviões e mangal. Os reconhecimentos geológicos são também muito condicionados pela presença de solos avermelhados e lateritos espessos, dispersos numa vegetação densa que apenas se reduz na época seca. Os afloramentos são raros, excetuando as couraças (os revestimentos resistentes dos lateritos, recobrando e protegendo assim a camada (parte) superficial desses solos lateríticos (Alves *et al*, 2011).

2.3 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO LOCAL

A zona de estudo propriamente dita está ligada a sul com a depressão Mauritana-Senegalesa da sínclise do Oeste da Guiné, e é construída por formações sedimentares mesocenoicas monoclinais cumulativos. A espessura desta camada sedimentar sobre o meridiano da vila de Varela é mais do que 8.000 metros (Hallebeek, 1981).

A secção de formações sedimentares é estudada na base de material obtido na perfuração de profundos poços estruturados na da parte continental do país e no mar.

As formações do Miocénico superior, que ocupam a parte ocidental inteira da planície, são representadas principalmente por argilas, geralmente de cores azul e cinza. No topo do corte há lentes e camadas de areias de quartzo com fauna do Mioceno superior, bem como camadas de lignite. Por esses tipos de sedimentos (sedimentos marinhos) a presença da rocha glauconite, um silicato hidratado de ferro e potássio é bastante típica.

Nestes sedimentos marinhos de idade quaternária formam-se terraços marinhos, bem como baixios (banco da areia coberto por água do mar ou de rio pouco funda) contemporâneos, praias, lagoas e zonas húmidas da costa. As formações conhecidas de três terraços marinhos ainda são pouco compreendidas. Os mais antigos, o segundo e o terceiro são representados por argilas vermelhas e, por vezes, por areias arenitos grossos. Tais arenitos muitas vezes expõem-se na zona das marés, formando camadas de rochas lateríticas (laterites). A presença de ferro nas areias é mais intensamente verificada no topo dos cortes e reduz para o fundo. A cor das rochas muda até amarelo e as vezes brancos. Os sedimentos do complexo de terraços mantem-se na base argilosa do Mioceno superior.

As rochas do primeiro terraço são representadas por areias brancas, cinzas, amarelas com boa classificação na área da praia (margem). A plataforma do terraço na margem tem uma altura de 3,5 a 5 metros acima do nível do mar. Próximo da costa encontram-se praias com comprimentos variáveis de 100 a 1000 metros.

As formações do primeiro terraço de cima são cinzentas e cinza-amareladas, na parte profunda é encontrado a areia de quartzo de granulacão fina, estas areias dominam a deposição em profundidade, e que as rochas na parte superior são representadas principalmente pelas argilas cinzas.

Nas encostas, em áreas de menor elevação são acumulados por material impregnado com hidróxidos de ferro, que se transformou em brechas de ferro e arenitos. Muitas vezes também foram sujeitos a ferruginização das rochas arenosas das partes superiores da estrutura de terraço, que formou neste caso uma espécie de couraça que protege terraços de rocha de esmaecimento. A área é morfologicamente litoral de plácemes costeiras em sedimentos acima descritos, formados por diferentes terraços marinhos (Hallebeek 1981).

As ocorrências dessas areias pesadas de Varela são resultantes de meteorização das rochas basálticas, que formam a grande parte das camadas geológicas da região. O depósito das areias pesadas de Varela é uma zona de mineralização enriquecida em frações pesadas, com cerca de 3000 metros de comprimento por 90 metros de largura em média, mas variando de 5 a 137 metros. A espessura média do depósito na margem é de 4,4 com variações entre 3 e 11 metros (Hallebeek 1981).

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DO DEPÓSITO MINERAL AREIAS PESADAS DE VARELA, GUINÉ-BISSAU

As areias mineralizadas são principalmente de grão fino, com uma boa alternância de cores cinza claro, amarelo e marrom claro. As areias em profundidade são de mineralização fraca em minerais pesados e apresentam cor vermelho escuro misturada com material argiloso. Na parte nordeste do depósito, sob argilas mineralizadas, encontra-se também areia de quartzo, alternando com argilas de cores vermelho e castanho.

Neste capítulo, também abordamos da situação geográfica (localização) de diferentes depósitos das areias pesadas, a geologia das regiões em que se encontram estes jazigos, os processos (gênese) que originaram (resultaram) a formação (concentração) dos minerais constituintes desses depósitos e outras reservas e/ou recursos minerais em geral.

No que diz respeito às areias pesadas, na Guiné-Bissau destacam-se três importantes depósitos todos influenciados pela ação das marés resultando na deposição das areias: (i) areias pesadas de Varela; (ii) areias pesadas de Saltinho, no sul do País, zona de setor de Quebo e (iii) depósitos situados nas ilhas dos Bijagós.

Os depósitos de Varela e das Ilhas de Bijagós são banhados pelo Oceano Atlântico, enquanto que o terceiro depósito identificado é situado junto ao rio Corubal (canal de Geba), e desagua no estuário do rio Geba, onde este, por sua vez desemboca no Oceano Atlântico. Entre os três depósitos, só o de Varela foi abordado neste estudo, com algumas análises mineralógicas e químicas, e que pode ser considerado como um jazigo com principais minerais de ilmenite, zircão e rutilo, constituindo fonte primária dos elementos químicos Ti e Zi. A exploração deste jazigo chegou a ser considerada como rentável onde foram avançados alguns trabalhos para a extração desse minério, entretanto estes trabalhos foram suspensos.

Em 1978, em conformidade com o programa elaborado por uma equipa de geólogos internacionais em colaboração com a Direção Geral de Geologia e Minas, foram iniciadas as pesquisas de terras de rutilo-zircão-ilmenita por um pequeno grupo com o financiamento nacional (Mamedov, 1980).

Durante as pesquisas foi descoberto um pequeno jazigo (Varela I) e uma ocorrência (Varela II) onde os perfis eram aproximados até 200 - 500 m e a distância entre as escavações era de 50 - 25 m (Mamedov 1980). No mesmo período (1977 - 80) durante as pesquisas de concha marinha fez-se no arquipélago dos Bijagós uma investigação das ocorrências de ilmenita nas areias da praia, representadas nos mapas publicados há muito tempo. Existem também pequenas, mas ricas concentrações de ilmenita na aluvião atual do rio Corubal (Mamedov, 1980).

No relatório dos geólogos italianos que faziam o reconhecimento na região de Xitole - Quebo cita-se uma concentração de ilmenita (10 - 12%) no grés do devónico inferior nos rápidos de Cusselinta e Saltinho (Aquater, 1978).

Os depósitos de zircão estão, em geral, associados aos minerais pesados de titânio, como a ilmenite (FeTiO_3) e o rutilo (TiO_2), e de estanho (cassiterite, SnO_2).

Podemos classificar o tipo desses depósitos em primários e secundários. Os depósitos primários relacionados à rocha parental são do tipo: depósitos de segregação magmática, relacionados a intrusivas alcalinas e associados a metamorfismo de contato. Os depósitos secundários são do tipo pláceres, desenvolvidos por concentração mecânica durante o Cenozoico, em drenagens no interior e ao longo do litoral (Dardenne & Schobbenhaus, 2001).

3. ESTUDO MINERALÓGICO E GEOQUÍMICO DAS AREIAS DE VARELA

3.1 BREVE HISTORIAL MINEIRO E RECOLHA DAS AMOSTRAS *IN-SITU*

Esta etapa tem como objetivo efetuar um estudo mineralógico mais detalhado, de forma a confirmar a presença dos minerais pesados esperados (ilmenite – rútilo - zircão), e quantificar estes minerais nas amostras, suportando de certa forma o projeto mineiro e económico que é apresentado no capítulo seguinte.

Importa referir existiu atividade mineira tendo em vista a valorização das areias pesadas de Varela. No local agora em estudo foram constituídos quatro arrendamentos (concessões), numerados de N°11, N°12, N°13 e N°14, e sendo que os estudos mais detalhados foram iniciados por uma perfuração realizada no arrendamento N°12. A soma das áreas dos arrendamentos é de 1375 hectares (Relatório Geológico, DGGM) e todos os arrendamentos ficam situados ao longo da costa. Em 2012, a empresa Russa POTO, SARL chegou a obter a licença de pesquisa e de exploração desse minério (Sociedade «POTO S.A.R.L» & DGGM, 2012).

Durante o período de implementação desse projeto de concessões, houve duas empresas que chegaram a fazer extração do minério, primeiro foi uma empresa Chinesa e depois a empresa Russa POTO, SARL. As duas empresas instalaram centrais de beneficiação muito parecidas, e as diferenças podem ser observadas na eficácia de separação (concentração), sendo que a empresa chinesa produzia dois tipos de concentrado (um semiacabado C.C- e outro, o concentrado final C.C+) em quanto que a empresa russa produzia um único concentrado final (CR) e sendo assim com um único rejeitado também (RR).

Estas duas empresas não prosseguiram com os trabalhos de exploração até final do projeto, provavelmente por razões políticas das autoridades, questões ambientais, discordância com os populares da zona, cotações do produto no mercado mundial, entre outras questões fundamentais.

Para caracterizar os minerais presentes no local de estudo, foi implementado um plano de amostragem das areias pesadas existentes no local. A amostragem foi realizada de forma a obter porções de areia representativas e encaminhá-las até ao laboratório no Departamento de Ciências da Terra na FCT-NOVA preservando ao máximo as suas características originais. Ao todo foram recolhidas seis amostras, que podem ser agrupadas em três conjuntos:

- Duas amostras do produto *tal-qual* ou ROM (*run of mine*), uma recolhida a seco (Am-1) e outra recolhida a húmido (Am-2) (ver figura 3.1)

- Três amostras de concentrado, divididas novamente em Concentrado Chinês (concentrado final C+C. e semiacabado C-C.) e em concentrado Russo (CR) ver figura 3.2)
- Uma amostra de rejeitado proveniente da empresa russa (RR).

As denominações do concentrado chinês, concentrado russo, e resíduo russo é referente aos stocks de minério concentrado e rejeitado onde cada amostra foi recolhida, a concentração foi feita pelas duas empresas chinesa e russa no passado. Relembre-se que a empresa russa fez uma separação única, isto é, só há um concentrado e um rejeitado.

Esta estratégia de recolha é adequada a encontrar mais facilmente as variedades mineralógicas de minerais pesados (porque são amostras de concentrado), saber a fração de minerais pesados e não pesados no ROM e também de alguma forma saber qual a eficiência do projeto de separação que foi usado por estas empresas.



Figura 3.1 Jazigo de Varela, local de recolha das amostras Am-1 e Am-2



Figura 3.2 Jazigo de Varela, recolha das duas amostras de concentrado (C+C. e C.R.) em antigas áreas de stock deixadas pelas empresas chinesa e russa que operaram no local

Como é sempre recomendado, uma amostra deve ser representativa do lote estudado, para tal exige-se que o todo processo seja realizado de forma fiável e com a garantia de que todas as partículas do lote têm a mesma probabilidade *a priori* de serem escolhidas para a amostragem.

Este estudo não fugiu à regra, a preparação das amostras requereu cuidados específicos tanto nos procedimentos propriamente ditos de recolha (por exemplo, evitar contaminação com ferramentas ou entre amostras) e também garantir a representatividade selecionando várias proporções incrementais em cada local que se pretendeu amostrar.

3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES LABORATORIAIS

As seis amostras de areias deram entrada no laboratório do DCT e a primeira ação foi pesar as amostras, primeiro com a humidade tal qual foram recolhidas e depois a seco, após a passagem de 8 horas em estufa a 60°C. A permanência a esta temperatura durante este tempo garante a perda praticamente total de água sem alterar a natureza físico-química das areias, condições necessárias para todas as etapas subsequentes de quarteio, e análise granulométrica. No transbordo entre o saco e os recipientes de pesagem houve pequenas perdas de areia, mas assume-se que as perdas são similares para todos os minerais e dimensões de grão. A tabela 3.1 sintetiza o peso inicial da amostra a húmido e o peso final após a passagem na estufa.

Tabela 3.1 Amostras e os respetivos pesos iniciais (areia húmida) e final (areia seca)

| Código da amostra | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Diferença (g) | % de humidade |
|-------------------|------------------|----------------|---------------|---------------|
| Am-1 | 2082,8 | 2077,2 | 5,6 | 0,268 |
| Am-2 | 925,9 | 920,4 | 5,5 | 0,594 |
| Am-C+C. | 1102,9 | 1096,4 | 6,5 | 0,589 |
| Am-C-C. | 1448,4 | 1443,0 | 5,4 | 0,373 |
| Am-C.R. | 1476,2 | 1469,6 | 6,6 | 0,447 |
| Am-R.R. | 1268,1 | 1262,6 | 5,5 | 0,434 |

Seguidamente, tendo em vista a determinação de curvas granulométricas e as análises mineralógicas que requerem porções de areia muito mais pequenas, as amostras foram passadas à vez por um divisor tipo Jones. Este divisor é muito utilizado neste tipo de seleção e permite obter porções mais pequenas, mas representativas de amostras maiores (com 1kg e mais).



Figura 3.3 Divisor de amostras tipo Jones, laboratório de preparação de amostras DCT da FCT-NOVA

3.3 CURVA GRANULOMÉTRICA E COMPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As areias pesadas são minérios desagregados *in-situ* e constituídas por grãos de dimensões variadas. A dimensão dos grãos é um aspeto importante nas etapas de concentração por separação gravítica, porque muitos equipamentos são mais adequados para funcionarem em determinados intervalos. Por esta razão, nesta fase do trabalho experimental, as amostras de areia foram separadas por peneiramento em classes granulométricas e foram traçadas as respetivas curvas granulométricas. Estas curvas constituem uma importante ferramenta que ajudará na seleção de um método de separação mais adequado, como é óbvio isso tem grande importância na decisão sobre o conjunto de medidas de engenharia a serem aplicadas e introduzidas no sistema

de processamento e tratamento da matéria prima, nomeadamente o tipo de processamento e os equipamentos a utilizar.

Para este estudo de determinação das curvas granulométricas, optou-se por considerar as amostras Am-1 (maior peso inicial, mais representativa do que Am-2), C.R. e R.R., e faz-se a comparação das curvas dessas amostras a fim de estabelecer correlações entre a granulometria e o tipo de amostra.

Os resultados da peneiração foram interpretados segundo a escala de Wentworth, que permite designar os materiais de acordo com as proporções que se encontram em cada intervalo granulométrico. Esta classificação foi proposta pelo geólogo Chester Wentworth, sendo apresentada no artigo “A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments” em 1922, e determina as seguintes designações:

- Areia muito fina (maior que 0,0625 mm e menor que 0,125 mm – ou 1/8 mm);
- Areia fina (maior que 0,125 mm e menor que 0,25 mm – ou 1/4 mm);
- Areia média (maior que 0,25 mm e menor que 0,5 mm – ou 1/2 mm);
- Areia grossa (maior que 0,5 mm e menor que 1 mm);
- Areia muito grossa (maior que 1 mm e menor que 2 mm);

Para efetuar o peneiramento, e tendo em atenção os limites da escala de escala de Wentworth, selecionou-se um conjunto seis (6) peneiros com as seguintes aberturas variando entre 2mm e 0,063mm: 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,25mm; 0,125mm; 0,63mm. Na figura 3.4 mostra-se o equipamento de classificação utilizado já com a série de crivos.



Figura 3.4 Série de seis peneiros utilizados para a determinação das curvas granulométricas das areias pesadas de Varela

Os resultados da primeira amostra a ser testada Am-1, sendo considerada como a mais representativa do tal-qual, encontram-se na tabela 3.2 e na figura 3.5.

Tabela 3.2 Resultados do peneiramento da amostra Am-1

| Abertura da malha (mm) | Retido no peneiro | | Passado acumulado (percentagem total de agregado que passou no peneiro) | Retido acumulado (percentagem total de agregado que ficou retido no peneiro) |
|------------------------|-------------------|---------|---|--|
| | g | % | | |
| 2 | 2,13 | 0,41% | 99,59% | 0,41% |
| 1 | 3,01 | 0,59% | 99,00% | 1,00% |
| 0,5 | 90,27 | 17,57% | 81,43% | 18,57% |
| 0,25 | 362,48 | 70,55% | 10,88% | 89,12% |
| 0,125 | 51,43 | 10,01% | 0,87% | 99,13% |
| 0,063 | 3,33 | 0,65% | 0,22% | 99,78% |
| Fundo | 1,15 | 0,22% | -- | -- |
| Total | 513,8 | 100,00% | -- | -- |

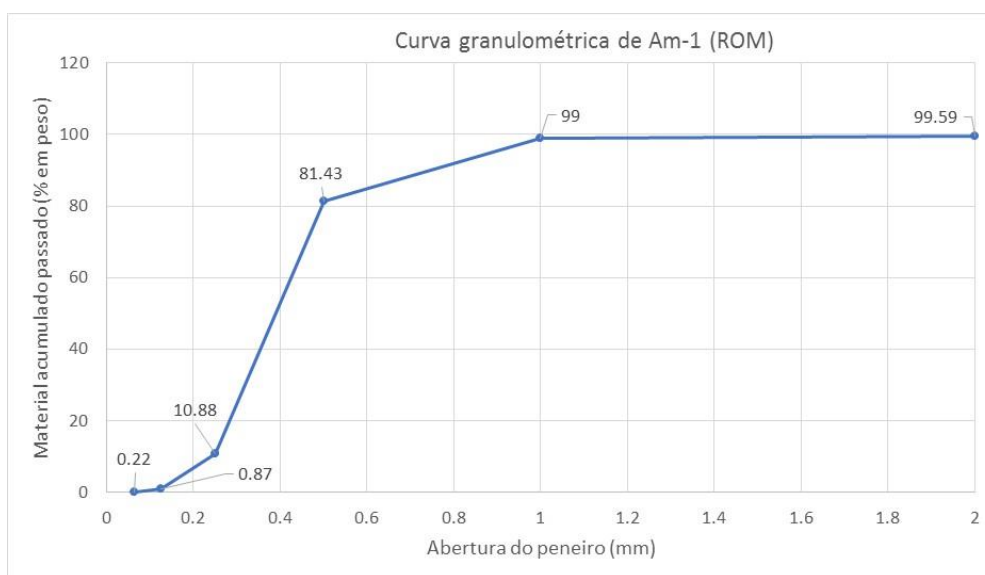


Figura 3.5 Curva granulométrica da amostra Am-1

Os resultados evidenciam que o peneiro com a abertura 0,25 mm foi o que reteve a maior quantidade de material, cerca de 70% da quantidade inicial, isso quer dizer que a grande parte desse material tem uma dimensão superior a 0,25 mm, mas inferior a 0,5 mm. No entanto, existe uma percentagem ainda considerável de grãos com dimensões superiores e inferiores a esta classe, com destaque para o intervalo 0,5mm-1mm com mais de 17% e o intervalo 0,1mm-0,25mm com cerca de 10% em peso. Pode-se então designar a amostra Am-1 como predominantemente de *areia média* e com *mistura de areia grossa e areia fina*.

Os resultados para a amostra de concentrado russo (C.R.) podem ser observados na tabela 3.3 e na figura 3.6.

Tabela 3.3 Resultados do peneiramento da amostra de concentrado russo (C.R.)

| Abertura da malha (mm) | Retido no Peneiro | | Passado acumulado (percentagem total de agregado que passou no peneiro) | Retido acumulado (percentagem total de agregado que ficou retido no peneiro) |
|------------------------|-------------------|---------|---|--|
| | g | % | | |
| 2 | 1,04 | 0,08% | 99,92% | 0,08% |
| 1 | 1,15 | 0,08% | 99,84% | 0,16% |
| 0,5 | 1,85 | 0,14% | 99,70% | 0,30% |
| 0,25 | 405,48 | 29,74% | 70,10% | 29,90% |
| 0,125 | 941,76 | 69,06% | 0,90% | 99,10% |
| 0,063 | 10,16 | 0,75% | 0,16% | 99,84% |
| Fundo | 2,18 | 0,16% | -- | -- |
| Total | 1363,62 | 100,00% | -- | -- |

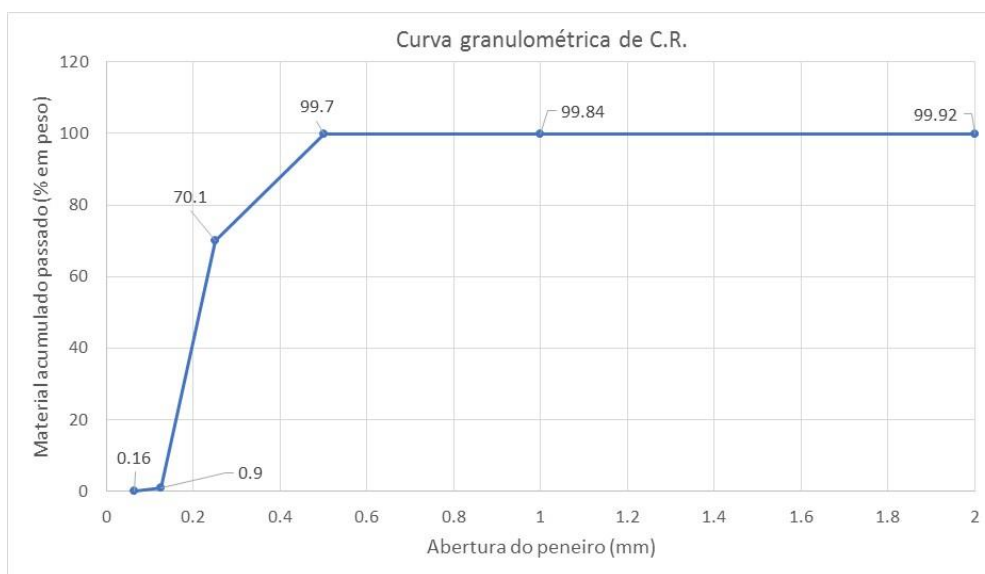


Figura 3.6 Curva granulométrica da amostra de concentrado russo (C.R.)

A amostra de concentrado russo (C.R.) fica mais retida no peneiro com a abertura de 0,125mm (cerca de 69%) a que se segue o peneiro 0,25mm com cerca de 30%; os restantes peneiros retêm quantidades residuais. Isso quer dizer que o concentrado desse minério apresenta uma granulometria quase na totalidade entre 0,125 e 0,5mm, ou seja, trata-se de areias que podem

ser classificadas como finas e médias. Ao contrário da amostra Am-1, praticamente não existem grãos com dimensões superiores a 0,5 mm.

No seguimento da análise granulométrica, a última amostra testada é a de rejeitado russo (R.R) cujos resultados equivalentes aos anteriores estão na tabela 3.4 e figura 3.7.

Tabela 3.4 Resultados do peneiramento da amostra de rejeitado russo (R.R.)

| Abertura da malha (mm) | Retido no Peneiro | | Passado acumulado (percentagem total de agregado que passou no peneiro) | Retido acumulado (percentagem total de agregado que ficou retido no peneiro) |
|------------------------|-------------------|---------|---|--|
| | g | % | | |
| 2 | 1,01 | 0,09% | 99,91% | 0,09% |
| 1 | 1,52 | 0,13% | 99,78% | 0,22% |
| 0,5 | 60,28 | 5,12% | 94,66% | 5,34% |
| 0,25 | 1029,41 | 87,51% | 7,15% | 92,85% |
| 0,125 | 78,21 | 6,65% | 0,50% | 99,50% |
| 0,063 | 4,39 | 0,37% | 0,13% | 99,87% |
| Fundo | 1,51 | 0,13% | -- | -- |
| Total | 1176,33 | 100,00% | -- | -- |

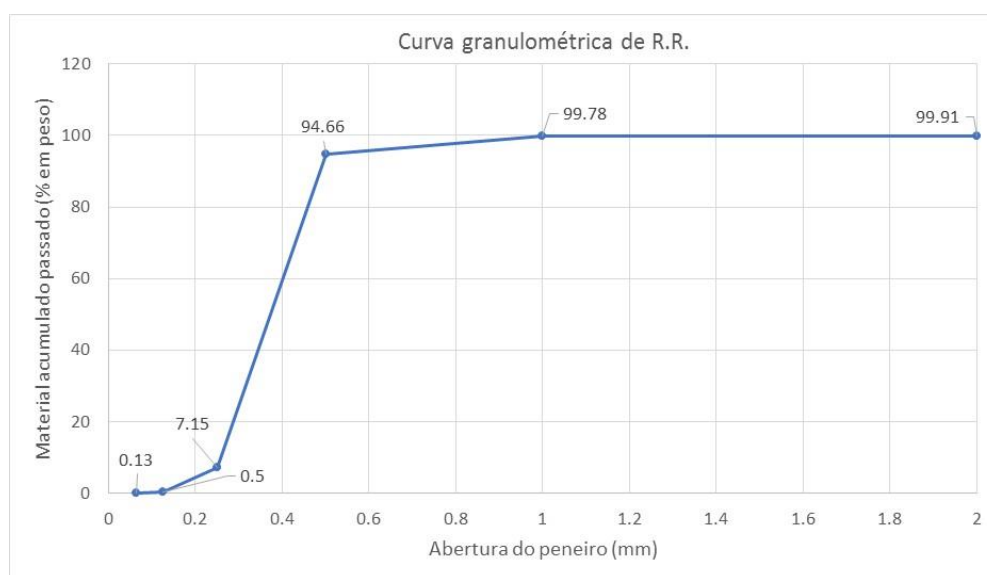


Figura 3.7 Curva granulométrica da amostra de rejeitado russo (R.R.)

A amostra de rejeitado russo (R.R.) fica em grande parte retida no peneiro com a abertura de 0,25mm (cerca de 87,5%) a que se segue o peneiro 0,125mm com cerca de 6% e o peneiro 0.5 mm com cerca de 5%. Isso quer dizer que o rejeitado desse minério apresenta uma granulometria quase na totalidade entre 0,25 e 0,125mm, ou seja, trata-se de areias predominantemente médias, com ligeiras frações grosseiras e finas.

Para terminar esta análise, na figura 3.8 mostra-se uma representação conjunta das três curvas.

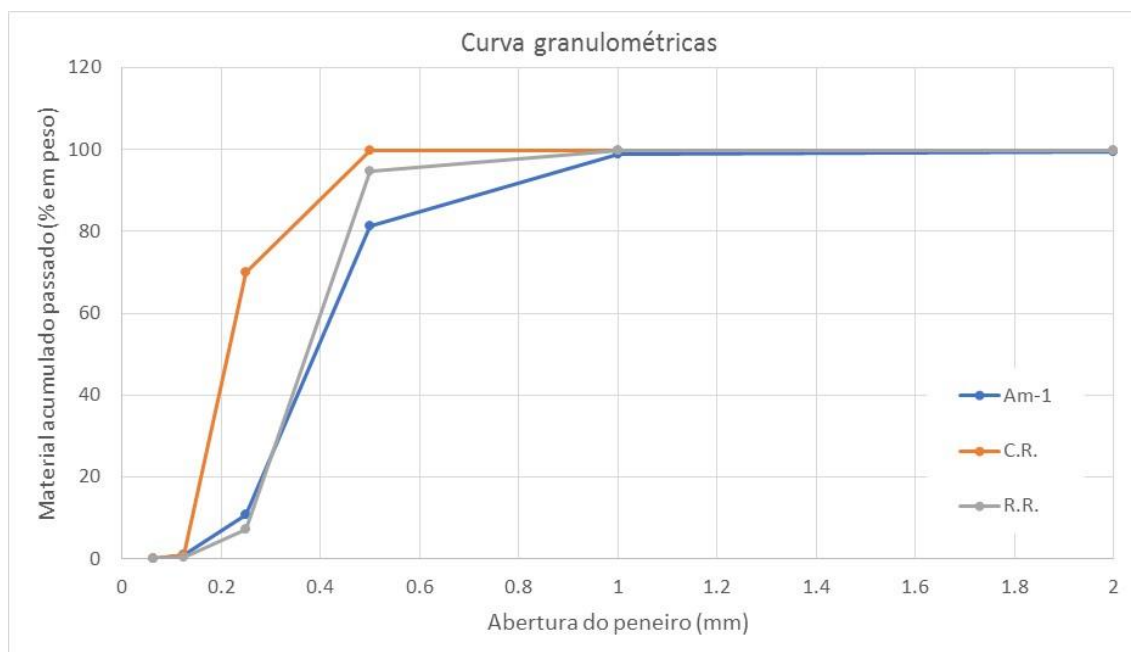


Figura 3.8 Representação conjunta das curvas granulométricas das amostras Am-1, C.R. e E.E.

Entre as três amostras selecionadas, observa-se que o concentrado é constituído por partículas de menor dimensão, relativamente ao rejeitado, o que poderá estar relacionado com o transporte e alteração destes minerais porventura mais frágeis do que os minerais predominantes no rejeitado ou então apenas simplesmente com o processo de tratamento levado a cabo pela empresa russa, que poderia ter feito alguma separação granulométrica antes da concentração mineral propriamente dita. A análise mineralógica que é apresentada posteriormente ajudará na identificação dos novos minerais e na confirmação da existência dos minerais de Zircão-Ilmenite-Rútilo em quantidades significativas.

3.4 ANÁLISE MINERALÓGICA QUANTITATIVA

A análise mineralógica foi realizada pelo equipamento FEI Quanta™ MLA 650 (*Mineral Liberation Analyser*) no laboratório da empresa EPDM – Empresa de Perfuração e Desenvolvimento Mineiro, em Aljustrel. A preparação e as análises foram feitas no dia 17 julho de 2018.

O sistema MLA 650 é um analisador automático de mineralogia e petrografia de bancada, que inicialmente foi desenvolvido para a indústria mineira pela Universidade de Queensland, Austrália (JKTech). A característica fundamental do MLA 650 é a aquisição síncrona de dados minerais e texturais (microestrutura) de uma amostra.

A automação avançada do software de suporte permite a aquisição de dados praticamente sem supervisão. Os resultados da análise incluem a mineralogia modal, o tamanho dos grãos, as associações minerais, e a dimensão de libertação de minerais. Com base esta informação primária, podem ser estimados a composição química elementar baseada na fórmula química dos minerais presentes, a densidade da amostra e as curvas de recuperação teóricas em função do teor e do grau de libertação.

O MLA 650 destaca-se por gerar imagens de alta resolução baseadas nos elétrons retro-espalhados e em análise química elementar de fluorescência raios X, inspirada na tecnologia de análise de imagens desenvolvida nos anos 80 e 90. Os resultados são imagens petrográficas de alta resolução espacial, intuitivas e prontamente acessíveis. Estas imagens iniciais são classificadas em imagens subsequentes, usando diferentes modos de medição predefinidos, como por exemplo imagens mineralógicas ou imagens de elementos químicos.

Na figura 3.9 pode ser observado o equipamento referido no laboratório da Almina e as amostras montadas em cilindros de resina já polidos.



Figura 3.9 (esquerda) Fotografia do equipamento MLA 650; (direita) preparação das 6 amostras em suportes de resina cilíndricos.

Foram analisadas frações de cada uma das 6 amostras recolhidas e que constam da tabela 3.1: Am-1 (tal-qual húmido), Am-2 (tal-qual seco), C+C (concentrado chinês de 1^a), C-C (concentrado chinês de 2^a), C.R (concentrado russo) e R.R (rejeitado russo). Os resultados da análise mineralógica modal estão listados nas tabelas 3.5 a 3.7, respetivamente os resultados em percentagem em área, a lista dos minerais e as respetivas fórmulas químicas e densidades, e depois os resultados recalculados para percentagem em peso tendo por base a densidade dos minerais.

A título ilustrativo, as imagens das figuras 3.10 e 3.11 ilustram os grãos encontrados nas amostras Am-1 e CR por ordem decrescente de tamanho assim como a classificação mineralógica que lhes foi atribuída.



Figura 3.10 Lista dos grãos identificados pelo MLA650 relativos à amostra Am-1.

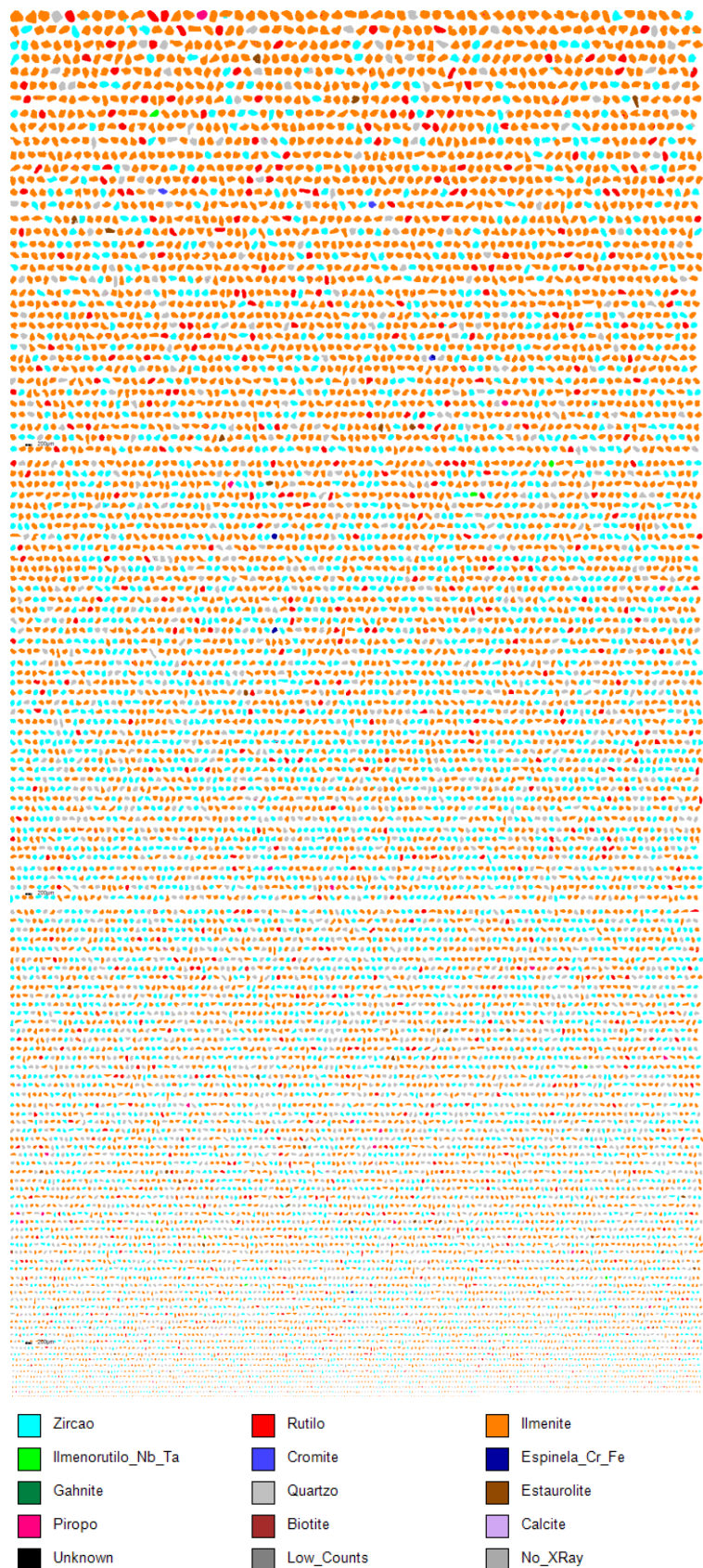


Figura 3.11 Lista dos grãos identificados pelo MLA650 relativos à amostra CR.

3. ESTUDO MINERALÓGICO E GEOQUÍMICO DAS AREIAS DE VARELA

Tabela 3.5 Análise mineralógica modal das amostras ensaiadas (% em área).

| Mineral/grupo | Amostra | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | AM_1 | AM_2 | C.R. | R.R. | C+C | C-C |
| Zircão | 0,79 | 0,29 | 24,09 | 0,25 | 27,05 | 5,71 |
| Rutilo | 0,14 | 0,05 | 4,64 | 0,25 | 5,21 | 5,13 |
| Ilmenite | 2,44 | 1,02 | 59,45 | 2,32 | 59,94 | 63,93 |
| Ilmenorutilo | - | - | 0,06 | - | 0,06 | 0,01 |
| Cromite | - | - | 0,04 | - | 0,03 | - |
| Espinela | - | - | 0,03 | 0,01 | 0,07 | 0,17 |
| Gahnite | - | - | - | <0,01 | 0,02 | 0,01 |
| Quartzo | 96,39 | 98,50 | 11,32 | 96,67 | 7,16 | 24,21 |
| Estaurolite | 0,11 | 0,04 | 0,22 | 0,18 | 0,23 | 0,51 |
| Piropo | 0,13 | 0,09 | 0,16 | 0,31 | 0,23 | 0,33 |
| Flogopite | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Calcite | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabela 3.6 Minerais observados e principais propriedades.

| Mineral/grupo | Densidade | Fórmula química | Observações |
|---------------|-----------|---|--|
| Zircão | 4,65 | ZrSiO ₄ | |
| Rutilo | 4,25 | TiO ₂ | |
| Ilmenite | 4,70 | Fe ²⁺ TiO ₃ | |
| Ilmenorutilo | 4,63 | Fe _x (Nb, Ta) _{2x} .4Ti _{1-x} O ₂ | Valores médios de Nb = 14,42%; valores médios de Ta = 3,49% (wt.). |
| Cromite | 4,79 | Fe ²⁺ Cr ₂ O ₄ | |
| Espinela | 3,65 | (Mg, Cr, Fe)Al ₂ O ₄ | Contém Cr (<5%) e Fe (<8%). |
| Gahnite | 4,30 | ZnAl ₂ O ₄ | |
| Quartzo | 2,63 | (SiO ₂) | |
| Estaurolite | 3,71 | Fe ₂ Al ₉ Si ₄ O ₂₂ (OH) ₂ | |
| Piropo | 4,20 | Fe ²⁺ 3Al ₂ (SiO ₄) ₃ | |
| Flogopite | 3,10 | KMg _{2,5} Fe ²⁺ _{0,5} AlSi ₃ O ₁₀ (OH) _{1,75} F _{0,25} | |
| Calcite | 2,71 | Ca(CO ₃) | |

Tabela 3.7 Análise mineralógica modal das amostras ensaiadas (% em peso).

| Mineral ou grupo | Amostra | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | AM_1 | AM_2 | C.R. | R.R. | C+C | C-C |
| Zircão | 1,36 | 0,51 | 25,29 | 0,42 | 27,89 | 6,37 |
| Rútilo | 0,23 | 0,08 | 4,45 | 0,40 | 4,91 | 5,24 |
| Ilmenite | 4,26 | 1,81 | 63,09 | 4,05 | 62,46 | 72,17 |
| Ilmenorutilo | - | - | 0,06 | - | 0,06 | 0,01 |
| Cromite | - | - | 0,04 | - | 0,03 | - |
| Espinel | - | - | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,15 |
| Gahnite | - | - | - | <0,01 | 0,02 | 0,01 |
| Quartzo | 93,81 | 97,40 | 6,71 | 94,37 | 4,17 | 15,26 |
| Estaurolite | 0,15 | 0,06 | 0,19 | 0,24 | 0,19 | 0,45 |
| Piropo | 0,20 | 0,14 | 0,15 | 0,49 | 0,21 | 0,33 |
| Flogopite | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Calcite | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Estes resultados mostram que o mineral mais abundante nas amostras de areias ainda não processadas, AM_1 e AM_2, é o quartzo, com mais de 93% em peso, e depois em quantidades ainda relevantes encontram-se os minerais zircão, rútilo e ilmenite (que totalizam percentagens entre 2,4% e 5,85%). Estes minerais pesados já tinham sido referenciados em estudos anteriores, e destacam-se ainda as presenças menores de estaurolite e piropo com percentagens já muito menores entre 0,2% e 0,35%.

Ainda relativamente às amostras de partida, AM_1 e AM_2, observa-se que os minerais presentes são os mesmos mas a percentagem de minerais pesados é mais abundante na AM_1 do que na AM_2, da ordem de mais do dobro, e este facto demonstra apenas que a quantidade de areias pesadas na areia total não é homogénea e existem zonas mais ricas e outras muito mais pobres. Outro facto relevante é a semelhança dos resultados obtidos nas duas amostras de concentrado C.R. e C+C, que indiciam que o processo de concentração e separação do quartzo teve a mesma eficiência nas duas empresas e também que a proporção entre os minerais pesados ocorrentes é da mesma ordem de grandeza.

Os resultados mostram também a presença do mineral ilmenorútilo, que é um óxido de Ferro (Fe), Nióbio (Nb), Tântalo (Ta) e Titânio (Ti) (fórmula química genérica $\text{Fex}(\text{Nb,Ta})_{2x}.4\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$). Pese embora a ocorrência deste mineral seja da ordem de 0,06% do total dos minerais presentes, este mineral contém cerca de 14% de Nb e 3,5% de Ta na sua fração total pelo que poderia ser considerado como uma fonte primária destes elementos químicos.

O processo de separação e concentração das areias é relativamente eficiente, as percentagens de minerais pesados sobem de valores da ordem de 2-5% para valores superiores a 90% para os minerais ilmenite, zircão e rútilo. O inverso é verificado nos resíduos, onde quase a totalidade do estéril é composto por quartzo e acaba por ter uma composição global da mesma ordem de grandeza das areias iniciais.

Seguidamente procedeu-se a um exercício simplificado para estimar a percentagem em peso de areias pesadas que vai para o concentrado e a que vai para o rejeitado. Admitindo que A é a quantidade (fluxo) de areia do tal qual, e que B e C são as quantidades de areia que vão respetivamente para o concentrado e para o rejeitado, o seguinte sistema de 3 equações faz o balanço de massas, respeitantes, respetivamente, à massa total de areia, e à massa de minerais pesados e minerais leves:

$$\begin{cases} A = B + C \\ 0,062A = 0,928B + 0,056C \\ 0,938A = 0,072B + 0,944C \end{cases}$$

Se o problema for formulado com os dados disponíveis e para a amostra AM_1 (a amostra AM_2 não gera uma solução válida), a solução do sistema de equações dá como resultado que a fração em peso do material que vai para o concentrado é ligeiramente abaixo de 1%, aproximadamente 0,7%. Importa referir que este valor calculado é muito sensível às quantidades dos minerais pesados reportadas e também do quartzo, e que a fração de concentrado que foi medida pode não ter sido obtida de uma fração de areia com as características iguais às que foram analisadas.

Em síntese, o processo de separação adotado por estas empresas parece ser relativamente eficiente e no concentrado a quantidade de areias pesadas sobe de 6% para mais de 90%. Todavia, a fração em peso de concentrado relativamente ao total parece ser muito baixa (da ordem de 1%), e também há algum desperdício porque a quantidade de minerais pesados no rejeitado é elevada da ordem dos 5%.

3.5 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UMA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

A separação magnética é um método de processamento dos minérios que faz a separação entre minerais magnéticos (e paramagnéticos) e minerais não magnéticos. A propriedade de um material que determina sua resposta a um campo magnético é chamada de suscetibilidade magnética. Com base nessa propriedade, os materiais ou minerais são classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que lhe são indiferentes. No primeiro caso incluem-se os minerais ferromagnéticos, que são fortemente atraídos pelo campo, e os paramagnéticos, que são atraídos mais fracamente. Aqueles que são indiferentes ao campo denominam-se de diamagnéticos (Parfeneff, 1970).

Para de determinar a proporção de minerais magnéticos e não magnéticos na amostra de *tal-qual*, fez-se uma separação magnética no laboratório do DCT com o separador magnético de laboratório Frantz (figura 3.12).



Figura 3.12 Separador magnético de laboratório Frantz.

O separador magnético de laboratório Frantz é composto por um alimentador cónico, uma calha vibratória, e dois eletroímãs de intensidade regulável, que definem a densidade de fluxo do campo magnético. A inclinação do conjunto pode ser regulada nos seus sentidos longitudinal e transversal. A separação dos minerais faz-se na passagem dos minerais pelos eletroímãs, e no final estes são reencaminhados para duas calhas paralelas, mas separadas.

A separação é condicionada pela intensidade do campo magnético, inclinação lateral da calha, inclinação longitudinal da calha (define a velocidade de escoamento das partículas e o tempo que estas ficam sujeitas ao campo magnético) e a intensidade da vibração (relaciona-se com a quantidade de material que atravessa o campo) (Parfeneff, 1970).

Neste caso de estudo, foi realizada a separação da amostra Am-1. As inclinações longitudinais e lateral foram reguladas para 25° e 15°, respetivamente. A tabela 3.8 mostra a percentagem dos minerais magnéticos e não magnéticos das areias pesadas de Varela.

Tabela 3.8 Frações de minerais magnéticos e não magnéticos da amostra Am-1 ensaiada (% em peso).

| Minerais | Peso amostra (g) | % em peso | Análise modal (tabela 3.7) |
|---|-------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Suscetibilidade magnética elevada (corte a 0,3A) | 12,4 | 7,46 | ilmenite = 4,26 |
| Baixa suscetibilidade magnética (máxima intensidade \approx 1A) | 0,9 | 0,54 | rútilo = 0,23 |
| Não magnéticos | 153 | 92 | |
| TOTAL | 166,3 | 100 | |

Os resultados mostram que a quantidade de minerais magnéticos (essencialmente ilmenite e rútilo quando tem algum ferro) ascende a 8% em peso da amostra e que os restantes minerais essencialmente o quartzo e o zircão representam 92% em peso da amostra. Estes valores estão em linha com os apresentados na tabela 3.7 (análise modal), e aproximam-se muito aos resultados obtidos para a amostra Am-1. De todos os minerais, a ilmenite é a que exhibe maior suscetibilidade magnética e tendencialmente irá ser separado com o campo magnético a 0,3A, seguindo-se o rútilo quando o campo magnético é selecionado no máximo.

3.6 ANÁLISE POR XRF DO CONCENTRADO OBTIDO NA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

O concentrado obtido na separação magnética foi analisado por um analisador portátil XRF e foram quantificados os elementos químicos presentes (tabela 3.9).

Tabela 3.9 Resultados das leituras por XRF portátil sobre a fração magnética das areias.

| | |
|--|--------------------|
| Elemento químico (ppm %) | Cr 1582,29 0,158 |
| Bal 622956,2 ppm 62,296% (Elementos não detetáveis pelo XRF) | Zr 1448,46 0,145 |
| Ti 205342,5 20,534 | Ca 1377,84 0,138 |
| Fe 158702 15,870 | K 1301,83 0,130 |
| Mn 3693,17 0,369 | Co 593,25 0,059 |
| V 1896,24 0,190 | Nb 337,21 0,034 |
| | Zn 170,68 0,017 |

Estes resultados mostram que o depósito das areias pesadas de Varela constitui um potencial depósito mineral com elementos químicos de elevado interesse económico. Destaca-se ainda a ocorrência de Nióbio (Nb), elemento químico de aplicação industrial interessante. Provavelmente os minerais de rochas alcalinas e de pegmatitos são mais ricos em Nb, ao passo que aqueles associados com anortositos e gabros apresentam os índices mais baixos deste elemento (Fleischer *et al*, 1952).

É de referir que a fração não magnética não foi analisado por este equipamento de análises, entretanto sabe-se através dos resultados das análises mineralógicas de que esta fração está composta essencialmente por mineral quartzo e zircão.

4. ELEMENTOS DE BASE DO PROJECTO DE EXPLORAÇÃO E ANÁLISE ECONÓMICA

Neste capítulo apresentam-se os quantitativos do recurso e as principais etapas técnicas de um hipotético projeto mineiro de exploração das areias pesadas de Varela. Refira-se que nesta fase fala-se em avaliação de recurso, e ainda não em avaliação de reservas, porque só depois do estudo económico se poderá falar em reserva, ou seja, a referência aos quantitativos e ao material que irá ser explorado com viabilidade económica.

O depósito mineral de Varela contém areias com teores exploráveis nos minerais zircão, ilmenite e rutilo. Considerando a natureza dos minerais e o interesse económico deste minério, a lei-quadro da mineração da Guiné-Bissau classificou estes materiais como de interesse estratégico nacional, adotando a designação de Mina de Areias Pesadas para a exploração destas areias.

Importa referir que a Guiné-Bissau colabora com Moçambique no setor da exploração das areias pesadas, e como sendo um país de maior experiência na área de mineração e pela cooperação existente entre os dois países nesta área, esta classificação foi também suportada por esta cooperação.

4.1 AVALIAÇÃO DE RECURSOS

4.1.1 APRESENTAÇÃO DE CONCEITOS

O conceito de recurso compreende todos os materiais naturais (rochas, minerais, água, petróleo, peixes, madeiras, etc.) que têm potencial para poderem ser explorados com benefício para a sociedade e seu bem-estar. O conceito de recurso não distingue se os materiais têm ou não viabilidade económica para serem explorados, e então sempre que um recurso tem viabilidade económica para ser explorado passa a ser designado por reserva.

No caso de se tratarem de matérias-primas minerais, o conceito de recurso compreende o conjunto de corpos mineralizados, conhecidos ou desconhecidos, que existem na parte acessível da crosta terrestre e que têm ou poderão vir a ter interesse económico para o Homem (ou seja, que são ou poderão vir a ser exploráveis). Geralmente, para uma determinada região e profundidade, a base de recursos é fixa (engloba todos os depósitos conhecidos ou desconhecidos). O conhecimento que dela possuímos é que varia!

No caso de os materiais naturais serem minerais de interesse estratégico, as concentrações naturais são designadas por depósitos minerais ou ainda por jazigos minerais no caso de se tratar de minerais metálicos. No caso mais geral, por exemplo para rochas industriais e rochas ornamentais utiliza-se o termo massas minerais.

Os conceitos de recursos e reservas é dinâmico. Um recurso mineral pode tornar-se uma reserva mineral se os teores dos elementos de interesse, quantidades de matéria-prima, cotações do produto, tecnologias de exploração, custos operacionais e aumento da procura forem favoráveis e imprimirem um benefício global positivo. Uma reserva mineral também pode recuar para um recurso mineral, se o contexto económico variar em sentido oposto, tais como, baixa nas cotações de mercado e custos operatórios não competitivos.

O cálculo de quantidades de um corpo mineral (avaliação de recursos) é um trabalho pluridisciplinar que envolve a geologia e a engenharia de minas e toda a informação que foi acumulada no local, nomeadamente cartografia geológica, prospeção geofísica e sondagens. Na Guiné Bissau, os trabalhos de reconhecimento e avaliação de recursos têm sido desencadeados pelo Ministério dos Recursos Naturais, em colaboração com parceiros técnicos, ajudando o Estado Guineense a dispor do conhecimento suficiente para uma política de identificação, gestão e controlo dos recursos minerais disponíveis e na exploração dos jazigos.

4.1.2 ESTIMATIVA DE QUANTITATIVOS

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados publicados no Relatório Geológico da DGGM da Guiné-Bissau no ano 2012 relativos aos quantitativos para o recurso areias pesadas de Varela.

Neste estudo, a área mineralizada foi subdividida em blocos com o comprimento de 200 metros, tendo-se considerado nos cálculos todos os poços de perfuração manual e mecânica feitos até à data no local. Foram construídas seções transversais do depósito com contorno do corpo de minério, sendo depois construído um modelo tridimensional do corpo. Esse modelo foi dividido em seções com dimensões pares 34-06, porque as principais perfurações se encontram nas seções ímpares 35-05. No total, foram definidos 16 blocos calculáveis com os seus respetivos volumes e tonelagens de areias pesadas. O cálculo de quantitativos foi baseado num modelo geoestatístico apoiado por uma malha de blocos com as dimensões 5 m em X, 5 m e Y e 1 m em Z.

Na tabela 4.1 mostram-se os resultados em termos de quantidades de minério e areias pesadas. A densidade média considerada para as areias foi de 1,4 o que ilustra a preponderância de minerais leves como o quartzo.

4. ELEMENTOS DE BASE DO PROJETO DE EXPLORAÇÃO E ANÁLISE ECONÓMICA

As reservas totais de minerais pesados ascendem a 68566 toneladas para uma tonelagem total de tal qual de 1720897 toneladas, a que corresponde uma fração média de 3,984% de minerais pesados.

Alguns cálculos económicos incluídos neste relatório mencionam que o teor em minerais pesados não deve ser menor do que 2,5-3,0%. Na tabela 4.1, vê-se que os blocos de 34_35 a 18_20 satisfazem estas condições.

Tabela 4.1 Resultados quantitativos das quantidades de areia e minerais pesados publicadas no Relatório Geológico, Direção Geral da Geologia e Minas (Sociedade «POTO S.A.R.L» & DGGM (2012).

| Blocos | V (m³) | Minério(t) | Densidade | Teor areias pesadas (%) | Concentrado (t) |
|----------------------|--------|------------|-----------|-------------------------|-----------------|
| ORE05_34-35 | 26340 | 44779 | 1,7 | 2,25 | 1005 |
| ORE05_32-34 | 70853 | 120451 | 1,7 | 7,48 | 9012 |
| ORE05_28-30 | 124751 | 212077 | 1,7 | 5,27 | 11165 |
| ORE05_30-32 | 99131 | 168522 | 1,7 | 5,51 | 9288 |
| ORE05_26-28 | 94346 | 160388 | 1,7 | 6,08 | 9758 |
| ORE05_24-26 | 99260 | 168742 | 1,7 | 7,58 | 12794 |
| ORE05_22-24 | 83154 | 141363 | 1,7 | 4,19 | 5928 |
| ORE05_20-22 | 50582 | 85990 | 1,7 | 4,21 | 3616 |
| ORE05_18-20 | 87206 | 148250 | 1,7 | 3,37 | 4991 |
| ORE05_16-18 | 149533 | 254207 | 1,7 | 2,21 | 5610 |
| ORE05_14-16 | 79994 | 135989 | 1,7 | 2,41 | 3281 |
| ORE05_12-14 | 100395 | 170671 | 1,7 | 2,12 | 3623 |
| Blocos 12-35: | 417129 | 1811435 | | 4,42 | 80083 |
| ORE05_10-12 | 71626 | 121764 | 1,7 | 0,89 | 1080 |
| ORE05_08-10 | 48536 | 82511 | 1,7 | 1,28 | 1059 |
| ORE05_06-08 | 31282 | 53180 | 1,7 | 1,81 | 963 |
| ORE05_05-06 | 12217 | 20770 | 1,7 | 0,38 | 77 |
| Blocos 05-12: | 163662 | 278226 | | 1,14 | 3180 |
| TOTAL: | 580791 | 2089661 | | 3,98 | 83252 |

4.2 BASES TÉCNICAS DO PROJETO MINEIRO DE EXPLORAÇÃO DAS AREIAS PESADAS DE VARELA

Um projeto mineiro para as areias pesadas de Varela compreende uma fase clássica de desmonte *in situ* a que se segue o processamento de concentração numa central especialmente desenhada para processar estes materiais.

Para descrever o projeto mineiro com maior detalhe, apresenta-se o fluxograma habitual do desmonte deste tipo de materiais não consolidados.

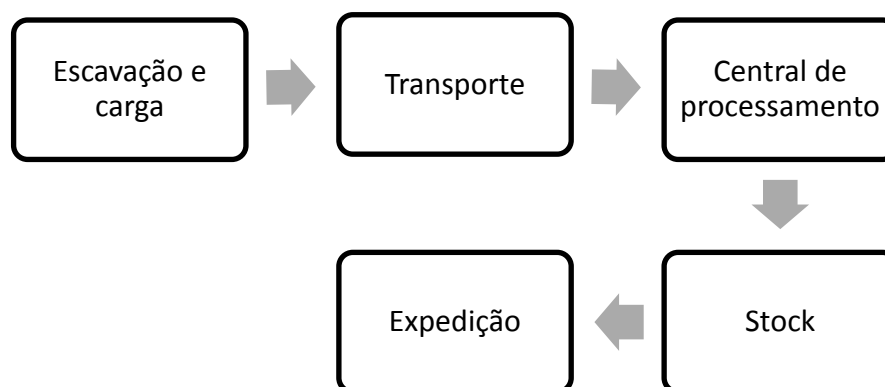


Figura 4.1 Etapas principais de um projeto mineiro de exploração das areias pesadas de Varela.

4.2.1 ESCAVAÇÃO E CARGA

Os trabalhos mineiros iniciam-se com a decapagem da superfície, nomeadamente removendo arbustos e outra vegetação assim como os solos superficiais que devem ser guardados para a futura recuperação do local. Após esta parte superficial ter sido removida, segue-se a extração do minério propriamente dito.

Os minérios a explorar *in-situ* são areias não consolidadas pelo que a escavação é fácil. Poderá ser feita por retroescavadora ou mesmo por pá carregadora para equipamentos de transporte como *dumpers* ou camiões, que os conduzem à entrada da central de processamento. Na figura 4.2 mostram-se duas fotografias da anterior exploração, à esquerda uma panorâmica da área de exploração e à direita a escavação do minério com uma giratória.



Figura 4.2 Vista da exploração mineira e escavação de areias com uma giratória.

4.2.2 TRANSPORTE

Depois da escavação e carga para os *dumpers*, o tal-qual é encaminhado diretamente para a central de processamento. O transporte por *dumpers* é do tipo descontínuo, e o processamento na central é em contínuo, então à entrada da central de processamento deverá existir um silo de receção com capacidade para algumas horas de processamento sem receber areias dos *dumpers*.

4.2.3 CENTRAL DE PROCESSAMENTO

Num projeto mineiro, a escolha da tecnologia a utilizar na beneficiação do minério tem em conta principalmente a diferença, numa ou em várias propriedades físicas, entre o mineral a concentrar e o material a rejeitar e também as quantidades que irão ser processadas (escala ou dimensão da central). Outros aspetos importantes são o consumo energético, se existe água disponível e com que abundância, a relação entre o estéril e o minério, a dimensão dos grãos, a pureza dos grãos, e os requisitos do concentrado estabelecidos pelos compradores do concentrado.

Relativamente às areias pesadas de varela, existem duas características físicas diferenciadoras entre os minerais que devem figurar no concentrado e no rejeitado, que são a **densidade dos minerais** e para alguns minerais a **suscetibilidade magnética**. Como os minerais com maior suscetibilidade magnética também são muito mais densos, a densidade é o parâmetro físico diferenciador, pelo que a central de processamento deverá ser projetada em torno de equipamentos de separação gravítica.

As principais etapas de processamento do minério que foram utilizadas pela empresa russa que fez mineração no local foram as seguintes:

- **Crivagem inicial** para a remoção da fração grosseira e outros resíduos / objetos que possam aparecer misturados, como plantas, etc. permitindo uma seleção mais favorável na separação dos minerais nas etapas seguintes.
- **Lavagem das areias** e retirada da fração fina, abaixo de 250 μm , utilizando um separador helicoidal;
- **Separação gravítica** em espirais Humphrey.

Dos equipamentos de separação gravítica, as **espirais de separação de tipo Humphrey** são, provavelmente, o equipamento mais adequado para este tipo de minérios, porque a diferença de densidades é elevada, as granulometrias variam entre 0,250 e 1mm e também porque as espirais não consomem energia (ao contrário das mesas de separação), apenas as bombas para a alimentação da polpa e necessitam de pouca manutenção. Refira-se que as espirais de separação foram o equipamento de separação principal utilizado pelas empresas que operaram no local (ver figura 4.3).



Figura 4.3 Espirais Humphrey utilizadas pelas empresas mineiras que já exploraram anteriormente no local para a concentração das areias pesadas de Varela.

As areias que passam nas espirais de separação gravítica são separadas em duas frações, a fração mais densa que constitui o concentrado e a fração mais leve que constitui o rejeitado. O corte é ajustável em função da eficiência do processo, e pode ser avaliado em equipamentos piloto.

A separação em espirais pode ocorrer em séries de duas ou até mais espirais, ou seja, o rejeitado de uma primeira passagem pode passar novamente numa segunda espiral. Por exemplo, o processamento feito pela empresa chinesa envolvia duas passagens, o concentrado final era constituído pelo produto denso que saía da segunda passagem e o chamado concentrado semiacabado onde o minério fazia só uma passagem.

Para realizar a concentração em espirais Humphrey é necessário dispor de um volume significativo de água e é vantajoso adotar um circuito fechado de água.

O circuito da água deverá incluir um primeiro reservatório de grande capacidade onde a água é bombeada de um rio próximo do local da central. Uma parte deste volume de água será transportado para outro reservatório mais pequeno, que já faz parte do circuito de recirculação da água, a partir do qual é utilizada a água para lavar e transportar os materiais na central por condutas e bombeamento. Na recirculação, da água, e para eliminar a fração de areias, deverão ser utilizados hidrociclones.

Os trabalhos de beneficiação do minério e o controlo de qualidade devem ser acompanhados de análises mineralógicas regulares efetuados no laboratório da empresa mineira que operar no local.

A empresa russa que explorou estas areias no passado fazia a produção de cerca de 10000 toneladas de concentrado por mês, a que correspondia uma quantidade total explorada de aproximadamente 200000 toneladas (Sociedade «POTO S.A.R.L» & DGGM (2012). O consumo médio de energia eléctrica da central de processamento que existiu na empresa russa era de 0,25 kW / hora / tonelada, o que para o processamento de 500 toneladas de um turno correspondia a 125 kW/turno.

4.2.4 RESÍDUOS

Os resíduos do processamento (mais de 90% do material explorado) foram depositados nas imediações da central formando dunas volumosas. São constituídos na sua quase totalidade por quartzo, por isso pode-se dizer que estes materiais não constituem uma fonte de contaminação. Em termos de aproveitamento, em explorações futuras deve ser avaliada a pureza das areias para o uso na construção civil e na indústria do vidro.

Importa referir que por não haver etapas de fragmentação, a taxa de empolamento dos materiais explorados e dos resíduos relativamente aos materiais *in-situ* é muito baixa, assim este material pode ser utilizado para recuperar os locais escavados sem acréscimo de resíduos como o que se verifica habitualmente na indústria mineira.



Figura 4.4 Local de deposição de resíduos da antiga exploração de areias pesadas de Varela.

4.2.5 STOCKS

Os concentrados deverão ser armazenados nas proximidades da central de processamento. O minério concentrado pode ser embalado em sacos de grandes dimensões e transportado em contentores por camiões a porto de Bissau, e daí segue para o mercado internacional, nomeadamente para as indústrias asiáticas na China e no Vietname ou outras.

4.2.6 OCORRÊNCIAS DE ARGILAS

Os trabalhos de extração e de processamento das areias pesadas podem ser prejudicados se forem encontradas áreas com quantidades significativas de argilas. O minério destas areias-argilosas, embora não consolidado, é mais difícil de ser extraído e processado do que nas zonas de areia de fluxo livre (areias-arenosas).

Um caso real mostra a influência negativa da ocorrência de argilas na mineração de areias pesadas. Trata-se da extração das areias pesadas em Moma, Moçambique, feitas pela empresa Kenmare em que a produção total de concentrados em 2011 foi de 842 900 toneladas, quando comparada com as 956 900 toneladas em 2010, uma redução de 12%, devido à ocorrência de argilas. Desse total, a produção de ilmenite foi de 636 800 toneladas, comparada com as 678 400 toneladas em 2010; em 2010 (Jornal Moçambicana, O País, 2012).

4.3 DESEMPENHO ECONÓMICO DE MINAS SEMELHANTES

Não são conhecidos os resultados económicos das empresas mineiras que exploraram estas areias pesadas na Guiné-Bissau. Todavia, foi consultada informação relativa à exploração mineira das Areias Pesadas de Moma, Moçambique, feitas pela empresa Kenmare.

A empresa Kenmare faz a exploração de areias similares em Moçambique desde 2007, e só em 2011 quase quatro anos depois da abertura é que gerou os primeiros lucros. Em concreto, os lucros em 2011 foram de 23,7 milhões de dólares, contra um prejuízo de 16,3 milhões de dólares registado no exercício económico de 2010. Isso mostra o intervalo existente entre o período de investimento inicial e o de recuperação do investimento, permitindo a compreensão da relação entre o custo de extração, preço de venda e investimento inicial.

De acordo com os resultados preliminares, a empresa gerou um lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (EBITDA ou Lajida) de 71,7 milhões de dólares em 2011, o que representa um crescimento de 202,5% do EBITDA da empresa em relação a 2010. As receitas em 2011 aumentaram 82%, para 167,5 milhões dólares (2010: 91,6 milhões de dólares), isso resulta de um fortalecimento contínuo dos preços do produto no mercado internacional. Os custos operacionais também aumentaram neste ano (“Jornal O País”, abril 2012 redação).

Em 2011, os investimentos em ativo imobilizado e equipamentos de Moma ascenderam a 180 milhões dólares (“Jornal O País”, abril 2012 redação).

No caso das areias da Guiné-Bissau, e tal como o projeto Moçambicano existe facilidade de extração desse minério, feita à superfície por escavação fácil e encaminhado para a central de processamento nas proximidades, assim a estrutura de custos é semelhante e também os custos de extração e de beneficiação são relativamente baixos em comparação com outros projetos mineiros. Tal como acontece em todos projetos mineiros, o custo de extração e de beneficiação está sempre otimizado com o preço de venda.

4.4 PREÇOS DE VENDA

Nos mercados internacionais, os preços de venda do minério das areias pesadas rondam atualmente os 800 dólares norte-americanos por tonelada de zircão, 150 dólares por tonelada de ilmenite e 700 dólares por tonelada de rútilo. Estes valores representam um decréscimo significativo relativamente às cotações de 2011, nalguns casos para menos de metade do valor. A tabela 4.2 mostra as cotações destes dois anos 2011 e 2017.

Tabela 4.2 Preços de venda nos mercados internacionais dos minerais rutilo, ilmenite e zircão, dados de 2011 e 2017 em dólares americanos por tonelada.

| Minério | Zircão (\$/t) | Ilmenite (\$/t) | Rútilo (\$/t) |
|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| 2011 | 1500 | 300 | 2000 |
| 2017 | 800 | 150 | 700 |

O melhor período de venda destes concentrados nos últimos anos foi durante os anos 2011 e 2012, e o valor do minério no mercado internacional tem sofrido quedas até agora. Estas quedas podem ser explicadas pela instabilidade na procura dos minerais de zircão-ilmenite-rútilo no mercado internacional e também pelo acréscimo na reciclagem e substituição.

Importa referir que os contratos de procura-oferta existentes neste setor, se concretizados com antecedência garantem o aumento da produção e o crescimento na faturação dos lucros, e este tipo de acordo abre novos desafios para e entre os parceiros da área de mineração, nomeadamente os clientes e as companhias de exploração mineira.

Sobre as areias pesadas de Varela, **novas propostas de compra em antecipação** podem relançar o projeto de exploração desse recurso, evitando assim um risco elevado de investimento que possa desencorajar os investidores na exploração desse minério. O modelo a seguir pode ser aquele que algumas empresas doutros países implementaram ou estão a implementar, como em Moçambique, por exemplo. Isso resulta na motivação e vontade de apostar em projetos concretos que podem ser aplicados no curto, médio e longo prazo, sempre prevalecendo a questão de rentabilidade económica e de garantia dos interesses das entidades envolvidas.

5. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES TENDO EM VISTA UM FUTURO ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

5.1 DESCRITORES DE ENQUADRAMENTO

5.1.1 CLIMA

A Guiné-Bissau localiza-se na Costa Oeste ou Ocidental de África entre o Equador e o trópico de Câncer. O clima da Guiné-Bissau é de tipo Tropical/Subtropical com características de quente e húmido.

Na Guiné-Bissau existem duas estações do ano, a estação das chuvas e a estação seca. Há alguns anos, as duas estações tinham aproximadamente a mesma duração, ou seja, seis meses (de meados de maio a meados de novembro-estação das chuvas e de meados de novembro a meados de maio-estação seca). Atualmente, e talvez devido às alterações climáticas, na Guiné-Bissau tem-se assistido ao encurtamento da estação das chuvas e ao aumento da estação seca. A estação das chuvas praticamente não dura mais do que 4 meses (de junho a setembro), com o mês de agosto, ocupando o mês mais chuvoso atingindo uma precipitação máxima de 585 mm (ver a tabela 5.1). Os restantes meses do ano são secos, no entanto, alguma precipitação ocorre nos meses de transição maio, outubro e novembro.

Tabela 5.1 Síntese mensal dos principais parâmetros climáticos para a cidade de Bissau ao longo de 2017 (Boletim meteorológico de Bissau, 2017).

| | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maió | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|-------------------------|---------|-----------|-------|-------|------|-------|-------|--------|----------|---------|----------|----------|
| Temperatura média (°C) | 24.5 | 25.7 | 26.8 | 27.2 | 27.6 | 27.2 | 26.4 | 25.8 | 26.4 | 27.1 | 27 | 24.9 |
| Temperatura mínima (°C) | 17.8 | 18.7 | 19.9 | 21 | 22.3 | 23.1 | 23.2 | 22.8 | 22.9 | 23.1 | 22.3 | 19 |
| Temperatura máxima (°C) | 31.3 | 32.8 | 33.7 | 33.5 | 32.9 | 31.4 | 29.6 | 28.8 | 29.9 | 31.2 | 31.7 | 30.8 |
| Temperatura média (°F) | 76.1 | 78.3 | 80.2 | 81.0 | 81.7 | 81.0 | 79.5 | 78.4 | 79.5 | 80.8 | 80.6 | 76.8 |
| Temperatura mínima (°F) | 64.0 | 65.7 | 67.8 | 69.8 | 72.1 | 73.6 | 73.8 | 73.0 | 73.2 | 73.6 | 72.1 | 66.2 |
| Temperatura máxima (°F) | 88.3 | 91.0 | 92.7 | 92.3 | 91.2 | 88.5 | 85.3 | 83.8 | 85.8 | 88.2 | 89.1 | 87.4 |
| Chuva (mm) | 0 | 1 | 0 | 0 | 22 | 166 | 431 | 585 | 397 | 173 | 27 | 2 |

Já a temperatura permanece sensivelmente constante ao longo do ano. As temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio são separadas por apenas três graus centígrados (27.6 do mês do maio, e 24.5 do mês de janeiro), o que até indica que a variação da temperatura ocorre dentro da estação e não entre estações.

Em síntese, na Guiné-Bissau existe pouca oscilação de temperatura e forte alteração entre estações das chuvas e da seca, influenciando assim na paragénesis de certos minerais, a bauxite por exemplo.

A região das areias de Varela é caracterizada por alta precipitação, a média oscila entre 1400-1800 milímetros por ano. A temperatura média anual é de aproximadamente 26 °C. As temperaturas mais baixas são registadas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e a temperatura mais baixa é de 19°-19,5°C); as mais elevadas são registadas durante os meses de março, abril, maio e junho.

5.1.2 ECOLOGIA / FLORESTA

A zona do projeto mineiro situa-se a baixa altitude, numa planície próxima da costa que é atravessada por rios que desembocam no oceano Atlântico. Grande parte da região mais próxima da costa está ocupada por mangais / manguezais. Nas partes mais afastadas podem encontrar-se outros tipos de vegetação como de água doce tipo pântano, florestas de terra firme, e floresta mais densa (Sociedade «POTO S.A.R.L» & DGGM (2012).

Nos arredores da mina, entre a área de extração e o povoado de Varela, existem plantações da década de 60/70 do século passado de tambacumbas, árvore da família das Rosáceas (*rosáceae*), que crescem bem em terrenos arenosos.

5.1.3 HIDROLOGIA/HIDROGEOLOGIA

É bom sublinhar a existência de variações significativas nos níveis do mar e no contacto com a terra. A subida do nível do mar é um fenómeno físico, hidrológico e geológico que ocorre ao longo da história da Terra, e em outras ocasiões o mar teve seu nível rebaixado. Este tipo de variações no nível do mar é influenciado por vários fatores, entre os quais, o movimento das placas tectónicas e atualmente o aquecimento global. O aquecimento da água do mar provoca a sua expansão térmica e também promove o derretimento dos gelos montanhosos e polares, adicionando assim mais água líquida aos mares.

As condições hidrogeológicas constituem um fator importante a considerar nesta área em estudo, e pelas características particulares desta exploração mineira, é fundamental valorizar os recursos hídricos disponíveis (água superficial e subterrânea), através de um estudo sobre a hidrogeologia, identificando os possíveis aquíferos que possam existir na zona do projeto e/ou na região. Essas águas subterrâneas constituem um recurso fundamental da zona e que a questão da

sua conservação para um uso adequado está a criar uma preocupação enorme nas populações vizinhas.

5.2 CONSIDERAÇÕES GEOAMBIENTAIS

Os trabalhos de exploração mineira podem causar prejuízos enormes ao meio-ambiente envolvente que urge minimizar e mitigar.

As medidas de prevenção servem para impedir ou diminuir as consequências negativas que seriam provocadas pela exploração da mina e as atividades acessórias. Já as medidas de mitigação servem para reduzir (mitigar) os riscos resultantes de um projeto de exploração mal planeado, onde as más práticas de execução dos trabalhos podem provocar uma alteração considerável ao meio envolvente. Tais medidas consistem em aplicar as técnicas de acompanhamento permanente dos trabalhos da exploração, atuando na monitorização dos riscos. Por outro lado, os trabalhos podem ser acompanhados por técnicos de ministério de ambiente e de organizações que regulam o funcionamento dos trabalhos ligado a ambiente.

Na área em estudo, e pelas características particulares desta exploração mineira, destacam-se os cuidados a ter com os recursos disponíveis, por isso recomenda-se a implementação de medidas e técnicas adequadas.

Algumas medidas complementares são:

- Construção das barreiras de proteção (barreiras de isolamento);
- Reutilização da água através de um circuito fechado, com processos de decantação das águas utilizadas. A enorme quantidade de água que é necessária para o funcionamento da central de processamento se for mantida por recirculação terá um enorme impacto nos volumes dos sistemas aquíferos.
- Deposição temporária dos rejeitados em áreas preparadas para o efeito e recuperação imediata dos locais já explorados;
- Revegetação dos locais já explorados com espécies do local (vegetação adaptáveis).

Os trabalhos de proteção ambiental são executados em estreita colaboração e coordenação com o Departamento de Ambiente do Ministério do Ambiente e da Direção Geral de Geologia e Minas do Ministério dos Recursos Naturais da Guiné-Bissau.

O risco de abandono dos trabalhos mineiros é um problema complicado que carece de ser balanceado por todas as partes envolvidas. Se por um lado uma mina exige um enorme

investimento na fase inicial do projeto, envolvendo a instalação dos equipamentos de trabalho, nomeadamente máquinas de extração mineira, e central de processamento, por outro lado para atrair projetos pode-se baixar o nível de risco das empresas colocando o risco da parte dos estados. Importa mesmo assim salvaguardar que em caso de suspensão da lavra ou abandono do projeto existem cláusulas e cauções que podem ser acionadas para reabilitar e preservar o local de uma antiga mina. Na figura 5.1 observam-se antigas instalações industriais no local que não foram desmanteladas pelas empresas mineiras que operaram no local.



Figura 5.1 Equipamento abandonado no local pelas anteriores empresas mineras que exploraram as areias pesadas de Varela.

É assim fundamental que na fase de projeto se faça um Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística do local para evitar o abandono sem reabilitação como aconteceu com as empresas que exploraram as areias de Varela (ver figura 5.2).



Figura 5.2 Antigas áreas de exploração das areias de Varela que não foram reabilitadas convenientemente.

É, pois, necessário dispor de um projeto de reabilitação da área mineira em exploração, que pode adotar duas estratégias: i) ainda durante a fase de exploração, acompanhar e executar os trabalhos da extração das areias simultaneamente com a reabilitação da zona explorada; ii) realizar o processo de reabilitação na fase de fim da vida de mina. Neste caso de estudo, como se trata de uma mina a céu-aberto superficial, a estratégia mais recomendada é efetuar a reabilitação do local à medida que avançam os trabalhos de exploração.

Atualmente, o conceito de economia circular, que aplicado ao setor mineiro preconiza o máximo aproveitamento dos resíduos, é muito valorizado, assim é muito importante ter um plano para a utilização de todos os materiais residuais do processamento, nomeadamente usando-os para a reabilitação da área mineira e vendendo-os como subprodutos.

Para aplicações industriais, alguns resíduos são tidos como material útil. Neste caso de estudo, as areias residuais constituídas essencialmente por quartzo poderão ser utilizadas na indústria do vidro desde que não contenham minerais secundários com ferro, o que exige comprovação por estudos laboratoriais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo tem como objetivo a caracterização e valorização das areias pesadas de Varela (Guiné-Bissau) e envolve estudos granulométricos e mineralógicos para identificar / confirmar os minerais presentes neste depósito mineral.

Com este trabalho foi possível determinar o potencial deste jazigo num hipotético projeto mineiro de exploração dessas areias pesadas. Também se destaca a importância da discussão sobre a escolha das tecnologias de beneficiação referida neste estudo para um futuro projeto minério.

Os constituintes minerais principais destas areias são o quartzo, ilmenite, zircão e o rútilo. A estes juntam-se outros muito menos abundantes, tais como o ilmeno-rútilo, cromite, espinela, e a estauroлите.

Os resultados de estudos anteriores e da antiga exploração mineira são favoráveis à exploração do depósito mineral de Varela.

A estrutura de custos e benefícios de uma hipotética exploração mineira destas areias é uma preocupação nacional para a Guiné-Bissau, pelo que foi dedicada uma parte considerável deste trabalho a este assunto sobre a valorização e evolução dos preços no mercado mundial, relatando resultados de explorações similares em Moçambique.

Com a exploração desse recurso, seriam criados postos de trabalho, dando oportunidades às comunidades da zona do projeto, e não só, sobretudo aos jovens para se lançarem no emprego semiprofissional a profissional. Por esta razão, recomenda-se que sejam criadas condições para poder lançar este projeto mineiro, tendo como objetivo o benefício da Guiné-Bissau. É ainda de sublinhar que um projeto deste tipo traria um enorme know-how para a comunidade científica geológica e mineira da Guiné-Bissau.

Este estudo deverá ser sempre antecedido de um estudo de impacto ambiental que sugira as medidas corretas a implementar nas três fases do projeto: preparação, laboração e fecho. Atualmente qualquer projeto mineiro é sujeito a um estudo de impacto ambiental com o objetivo de caracterizar e minimizar / mitigar os impactos negativos.

Esta dissertação é um contributo para a Guiné-Bissau, através da Direção de Geologia e Minas, dispor de mais e melhores conhecimentos sobre os seus recursos minerais, de forma a melhor poder ajuizar as propostas dos projetos de exploração desses jazigos de Varela. A mesma servirá igualmente para aumentar o sector industrial do País, e neste caso o setor primário.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, P.H. (2007). A Geologia Sedimentar da Guiné-Bissau. Da análise geral e evolução do conhecimento ao estudo do Cenozóico. Tese Doutoramento, Fac.Ciências, Univ.Lisboa.

Alves, P.H., da Silva, T.P., Figueiredo, M.O., & Ramalhal, F.J.S. (2011). Contribuição para o conhecimento de formações lateríticas da Guiné-Bissau, LNEG.

Dias, R. (2015). Minerais Pesados de Areias de Rio Maior: Análise de Processos de Separação e Concentração e Caracterização de Concentrados.

Fleischer M., Murata K.J., Flecher J.D. e Narten, P.F. (1952). Geochemical Association of Niobium and Titanium and Its Geological and Economic Significance.

Hallebeek (1981). Pesquisa de Minerais Pesados-Zona de Varela.

INE, 2018. Instituto Nacional de Estatística. Dados demográficos.

LNEC (1959). As laterites do Ultramar Português. Laboratório Nacional Engenharia Civil.

Mamedov (1980). Geologia e Minério da República da Guiné-Bissau.

Marques, J.M. Motta (1983), Relatório da Missão de Prospecção Geológico-Mineira no leste do Gabu (Bacia do Fefiné). Cooperação Portuguesa / DGGM. SPE, 3 vols, Lisboa.

Pereira, J.S. (1943) Notas sobre a geologia da Guiné portuguesa.

POTO S.A.R.L (2012). Relatório Geológico, Resultados da prospeção e Cálculo das Reservas da Mineração Complexo de Titânio-Zircónio do Projeto VARELA, Sociedade «POTO S.A.R.L».

Teixeira, A.J.S. (1962). Os solos da Guiné portuguesa. Estudos, Ensaios e Documentos.

Teixeira, J.E. (1968). Geologia da Guiné Portuguesa. In: Curso de Geologia do Ultramar.

Sites Consultados

<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/ilmenite>

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/categoria/quimica>

<http://opais.sapo.mz/index.php/economia/38-economia/19736-areias-pesadas-de-momageram-primeiros-lucros.html>

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/categoria/quimica>

http://macua.blogs.com/moambique_para_todos/2012/11/areias-pesadas-de-moma-descoberto-mineral-raro-em-topuito.html

<https://www.dw.com/pt-002/moma-areias-pesadas/t-17424773>

<http://www.cienciaviva.pt>

www.rsc.org/www.cdcc.sc.usp.br/www.chemicalelements.com/www.chemistryexplained.com